



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MAGNETICKÝ SEPARÁTOR

MAGNETIC SEPARATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ KŘUPKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Křupka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Magnetický separátor

v anglickém jazyce:

Magnetic separator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh magnetického separátoru pro separaci drobného průmyslového odpadu.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu obsahující přehled podobných zařízení, výrobců, posouzení a výběr vhodného konstrukčního řešení. Provést vybrané důležité technické výpočty, vybrat parametry důležitých komponentů, nakreslit sestavný výkres zařízení a vybrané detailní výkresy.

Seznam odborné literatury:

1. Shigley J.E., Mischke Ch.R., Budynas R.G.: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
2. Bigoš P., Kuřka J., Kopas M., Mantič M.: Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. TU v Košiciach. 2012. ISBN 978-80-553-1187-6
3. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
4. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.
5. Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992.
6. Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno 1988.
7. Dražan, F. a kol.: Teorie a stavba dopravníků.
8. Kolář, D. a kol.: Části a mechanismy strojů.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 20.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh konstrukčního řešení magnetického separátoru určeného k separaci drobného průmyslového odpadu. Tato zpráva obsahuje přehled zařízení světových výrobců, která slouží k magnetické separaci ocelového odpadu. Dále pak posouzení variant technických řešení konstrukčních uzlů magnetického separátoru a následný výběr konkrétního řešení. Dle vstupních parametrů jsou vypočteny všechny parametry potřebné ke správnému návrhu stroje. Ve výpočtech jsou zahrnuty i odůvodnění volených, tabulkových hodnot, uložení, drsností povrchu, geometrických tolerancí, materiálů a tepelné zpracování jednotlivých dílů a sestavy. Součástí technické zprávy je výkresová dokumentace vybraných dílů a sestavy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Magnetický separátor, průmyslový odpad, magnetická separace, návrh konstrukce

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to design the structural conception of magnetic separator designated to separate small-sized industrial waste. This report provides an overview of facilities of worldwide manufacturers that are used for magnetic separation of steel scrap. Furthermore, it offers an assessment of variants for technical solutions to structural nodes of magnetic separator; this is followed by a selection of specific solution. According to the input parameters, all the parameters necessary for correct machine design are computed. These computations also include the justification of selected table values, placement, surface roughness, geometric tolerances, materials and heat treatment of the individual parts and assemblies. Attachments to this technical report are documentation drawings of selected parts and assemblies.

KEYWORDS

Magnetic separator, industrial waste, magnetic separation, structural design



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Křupka, J. *Magnetický separátor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 80 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiří Malášek Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 15. května 2015

.....

Jiří Křupka



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat za rady: Ing. Martinu Jonákovi, Ing. Josefu Klimešovi, Ing. Radku Šebkovi, Ing. Martinu Ševčíkovi Ph.D., doc. Ing. Radku Kalouskovi Ph.D. a PhDr. Zuzaně Svobodové.



OBSAH

Úvod	10
1 Magnetické separátory	12
1.1 Využití magnetických separátorů	12
1.2 Přehled zařízení sloužících k magnetické separaci	13
1.2.1 Deskové separátory	13
1.2.2 Trubkové separátory	13
1.2.3 Kaskádové separátory	14
1.2.4 Separační rošty a tyče	15
1.2.5 Bubnové separátory	16
1.2.6 Závěsné separátory s permanentními magnety	17
1.2.7 Závěsné pásové separátory s elektromagnetem	19
1.3 Výrobci zařízení sloužících k magnetické separaci	20
1.3.1 Výrobci a jejich produkty	20
2 Výběr a posouzení konkrétního magnetického separátoru	23
2.1 Výběr pracovního prostředí a pracovních podmínek prostředí	23
2.1.1 Podmínky pracovního prostředí	23
2.1.2 Výběr materiálů určených k separaci	23
2.1.3 Pracovní pozice	24
2.2 Hlavní části magnetického separátoru	25
2.2.1 Rám	25
2.2.2 Hnací a vratný buben	26
2.2.3 Magnet	27
2.2.4 Pohonné a převodové ústrojí	35
2.2.5 Dopravní pás	37
3 Technická zpráva	40
3.1 Použité součásti	40
3.1.1 Rám	40
3.1.2 Hnací a vratný buben	40
3.1.3 Magnet	41
3.1.4 Pohonné a převodové ústrojí	42
3.1.5 Dopravní pás	42
3.2 Výpočet konstrukčních uzlů magnetického separátoru	43
3.2.1 Vstupní zvolené parametry	43
3.2.2 Zvolené parametry	43
3.2.3 Tabulkové hodnoty	43



3.2.4 Výpočet konstrukčních uzlů	44
Závěr	69
Použité informační zdroje.....	70
Seznam použitých zkratk a symbolů	73
Seznam obrázků.....	77
Seznam tabulek:.....	79
Seznam příloh	80



ÚVOD

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh magnetického separátoru pro separaci drobného průmyslového odpadu. Magnetická separace je proces, při kterém dochází za působení magnetu respektive jeho magnetického pole k oddělení materiálů feromagnetických od materiálů nemagnetických. V zásadě lze magnetickou separaci rozdělit na dva základní druhy a to za použití permanentních magnetů nebo elektromagnetů. Použití magnetického separátoru s elektromagnetem je jednou z podkapitol této práce kapitoly Magnetické separátory, avšak dále se budeme zabývat pouze řešením s permanentními magnety. Výběr vhodného magnetického separátoru závisí především na podmínkách prostředí, ve kterém stroj pracuje, způsobu řešení magnetické separace a ostatních částech, buď celých separačních linek nebo pouze samostatných pásových dopravníků. Dá se říct, že hlavní roli při výběru tohoto typu stroje hraje příslušný konkrétní provoz, do kterého je magnetický separátor situován. S tím jsou spojeny požadavky na příslušné rozměry stroje, výkon stroje a výběr vhodného magnetu. Přehled magnetických separátorů různých rozměrů a technických koncepcí je jedním z hlavních bodů této práce.

Magnetické separátory mají široké uplatnění v průmyslu a v zásadě je lze využívat v různých jeho odvětvích. Hlavní místo však mají v recyklačním průmyslu, kde dochází k nejširšímu uplatnění těchto strojů, neboť zásoby svezeného odpadu, který se denně separuje v recyklačních centrech, jak dle velikostí, tak dle materiálu a dále recykluje je prakticky nevyčerpatelný a každým dnem dochází k jeho kumulaci. Proto je magnetický separátor nezbytnou součástí separačních linek v tomto odvětví. Dalším z účelů použití magnetických separátorů může být zajištění bezpečnosti ostatních výrobních procesů a provozů, kdy nesmí dojít z různých důvodů ke kontaktu s feromagnetickými materiály. Potom je magnetický separátor kvůli poskytnutí ochrany umístěn před konkrétní stroj. A konečně třetím hlavním důvodem využití magnetického separátoru je předpoklad separace odpadových kovových zbytků. A to buď ve formě většího kovového odpadu ve formě krátkých odstřížků plechů, krátkých zbytků různých profilů atd. z různých kovů. Nebo drobného kovového odpadu ve formě například deformovaných podložek, šroubů, hřebíků, nýtů, špon, štěpin atd. z různých kovů. V obou případech dochází k oddělení materiálů feromagnetických od materiálů nemagnetických.

Většinu feromagnetického odpadu tvoří železo z hlediska chemického, z hlediska materiálu je to ocel, neboť je stále nejhojněji zastoupeným materiálem ve strojírenství spolu s jeho slitinami. Když pomineme ostatní feromagnetické prvky-materiály (kobalt, nikl, gadolinium a jejich slitiny [20]) bude železo-ocel skutečně tvořit většinu feromagnetického odpadu. S úvahou těchto předpokladů je výsledkem využití magnetického separátoru odseparovaný materiál a to ocelový odpad. Ten lze následně zpracovat a rozdělit do příslušných tříd ocelového odpadu a dále pak dle druhů ocelového odpadu podle příslušné normy [11]. Norma zavádí celou řadu požadavků pro třídění, manipulaci a jiné nakládání s ocelovým odpadem.

Jak už bylo zmíněno využití těchto strojů je široké, avšak vždy specifické, přizpůsobené konkrétním podmínkám, proto se v této práci budeme dále zabývat pouze magnetickým separátorem s permanentními magnety v angličtině nazvaným „Overbelt Overband Magnetic Separator“ dále už jen „magnetický separátor“. Obecně lze předpokládat dopravu materiálu určeného k separaci pomocí různých variant pásových dopravníků, kdy lze magnetický separátor umístit rovnoběžně s pásovým dopravníkem nebo může být umístěn kolmo vzhledem k pásovému dopravníku. Na základě uvedených předpokladů a využití magnetického separátoru jsem se rozhodl pro první způsob, tedy situování magnetického separátoru do recyklačního průmyslu. Neseparovaný materiál je dopravován k magnetickému



separátoru pomocí pásového dopravníku. Vstupním neseparovaným materiálem bude v tomto případě rozdrčený dřevěný nábytek, použité osb desky nebo palety, ve kterém zůstávají po rozdrčení zbytky spojovacích elementů ve formě šroubů, hřebíků, podložek, matic, příložek, spon atd. K tomu bude využit magnetický separátor, který bude tyto elementy separovat.

Výsledkem práce je konstrukční návrh včetně výkresové dokumentace magnetického separátoru s přihlédnutím k technickým možnostem a ke zvolenému konkrétnímu provozu. Součástí řešení bohužel není odborný výběr a klasifikace hodnot magnetických parametrů permanentního magnetu vhodného pro konkrétní provoz, z důvodu přílišné časové náročnosti řešení neodpovídající rozsahu bakalářské práce. Přesto jsem se dále snažil o bližší zjištění hodnot magnetických parametrů. Po konzultaci na ÚF FSI jsem získal informace, že zjištění hodnot těchto vlastností je možné pouze experimentální formou ve specializované laboratoři nebo využitím speciálního fyzikálního simulačního softwaru, ke kterému nemám potřebné znalosti ani licence.



1 MAGNETICKÉ SEPARÁTORY

Kapitola byla zpracována dle podkladů [20-30]

Tato kapitola, ostatně i celá bakalářská práce se zabývá magnetickými separátory určenými pro separaci feromagnetických materiálů.

Vedle těchto zařízení existují magnetické separátory určené pro separaci ne-feromagnetických materiálů (ECSM) jako měď, hliník, stříbro atd. Ale neporadí si s těžkými kovy nebo s kovy se špatnou elektrickou vodivostí jako nerez ocel, olovo a podobně. Separátory neželezných kovů (ECSM) pracují na principu různého působení vířivých proudů na materiály s různou elektrickou vodivostí (kovy a nekovové materiály). Tyto magnetické separátory nejsou předmětem ani obsahem této bakalářské práce, proto se jimi dále nebudeme zabývat.

1.1 VYUŽITÍ MAGNETICKÝCH SEPARÁTORŮ

Obsahem této podkapitoly jsou hlavní důvody, které vedou potenciálního uživatele k rozvaze o využití magnetických separátorů určených pro separaci feromagnetických materiálů. Dále už jen „magnetické separátory“.

Hlavní důvody využití magnetických separátorů:

- a) ochrana ostatních zařízení
 - poskytnutí ochrany ostatním zařízením v technologickém procesu před možným kontaktem s feromagnetickými materiály, který by vedl k poškození nebo destrukci daného zařízení a následně s tím spojenými finančními náklady na odstranění vzniklého problému.
- b) recyklace odpadu
 - široké uplatnění magnetických separátorů různých typů a rozměrů v centrech komunálního odpadu nebo ve specializovaných sběrnách kovového odpadu, kde málokdy tyto zařízení pracují samostatně, ale většinou jsou součástí větších separačních celků respektive celých separačních linek.
- c) speciální účely
 - jsou to například magnetické separátory pro farmaceutický nebo potravinářský průmysl, kde možný kontakt s kovovými částicemi je extrémně nežádoucí, jak pro vstupní materiály, polotovary nebo finální výrobky. Magnetické separátory pro farmaceutický a potravinářský průmysl jsou zpravidla osazeny neodymovým (NdFeB) magnetických systémem,
 - ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu se využívají hlavně deskové a skluzové separátory, filtrační tyče, magnetické rošty a v neposlední řadě také magnetické filtry.

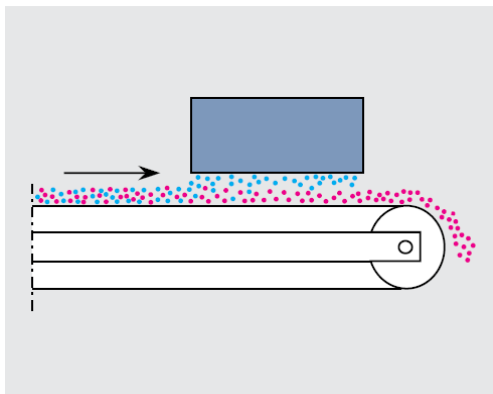
Jak již bylo zmíněno úvodem, základní podstatou magnetických separátorů je oddělení materiálů feromagnetických od materiálů nemagnetických. A to s využitím permanentních magnetů nebo elektromagnetů respektive jejich magnetického pole případně elektromagnetického pole. Tato skutečnost platí pro všechny magnetické separátory, avšak

jednotlivá zařízení se liší, vedle dalších kritérií vztahujících se většinou na technické vlastnosti a parametry magnetu, také způsobem a průběhem separačního procesu, který je pro každé zařízení specifický, kvůli jejich rozdílné konstrukci a funkci, kterou plní. Následující dvě podkapitoly obsahují přehled magnetických separátorů určených pro separaci feromagnetických materiálů a přehled světových výrobců těchto zařízení.

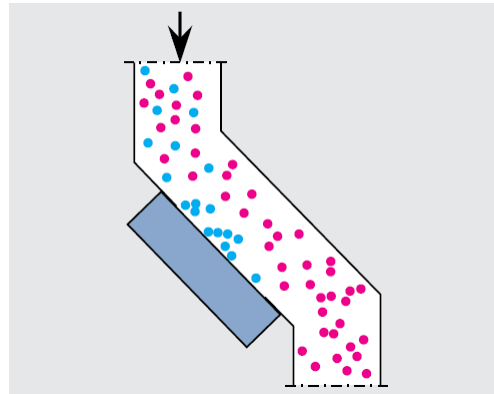
1.2 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ SLOUŽÍCÍCH K MAGNETICKÉ SEPARACI

1.2.1 DESKOVÉ SEPARÁTORY

- Slouží k odstraňování feromagnetických částic z materiálového toku nad dopravním pásem, na vertikálním či šikmém potrubí pod skluzu,
- povrch magnetického bloku, který přichází do styku se separovaným materiálovým tokem je vyroben z nerezavějící oceli (AISI 304),
- magnety jsou zezadu osazeny kovovou deskou se závitovými otvory pro snazší upevnění,
- magnetické bloky se vyrábějí standardně v mnoha velikostech a rozměrech,
- čištění magnetů je rychlé a účinné. Provádí se ručně nebo je možné použít čistící extraktor,
- pokud je nutná velká hloubka magnetického pole, např. při separaci velmi malých kovových částic z materiálového toku, je možné blokovaný magnet osadit velmi silnými neodymovými (NdFeB) magnety.



Obr. 1 Deskový separátor
(umístění A) [26]

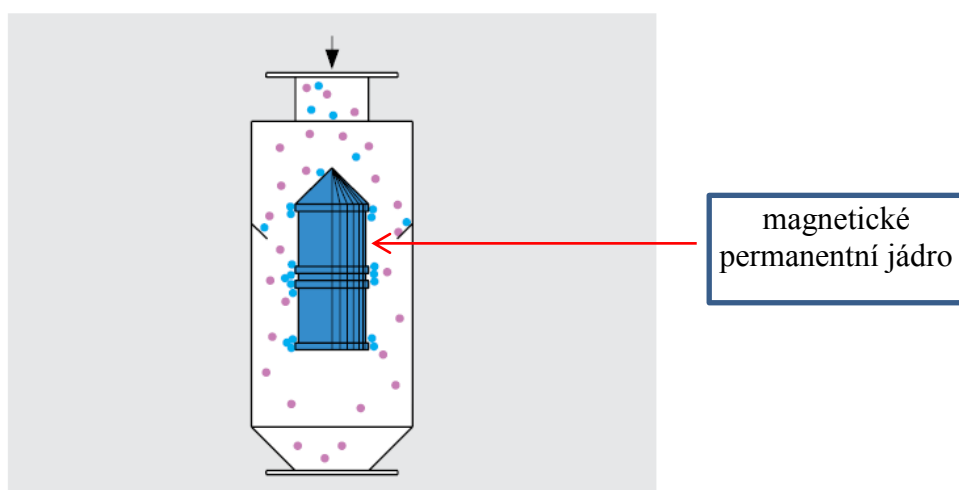


Obr. 2 Deskový separátor
(umístění B) [26]

1.2.2 TRUBKOVÉ SEPARÁTORY

- trubkové magnetické separátory se používají pro odseparování feromagnetických nečistot z materiálových toků proudících v potrubních systémech. Je možné je nasadit tam, kde je možné ruční čištění magnetu po jeho zanesení,
- vhodné pro montáž do stávajících potrubí do středu nebo na konec potrubí,
- trubkové magnety jsou konstruovány tak, že permanentní magnetické jádro je v cestě proudící suroviny, takže potrubím může proudit jen suchý, granulovaný materiál s dostatečně malými rozměry, aby nedocházelo k ucpávání separátoru velkými kusy,

- tyto typy nejsou vhodné pro nasazení, kde je materiál vlhký, olejnatý nebo se v něm vyskytují velké kusy a hrozilo by postupné ucpání separátoru,
- trubkové magnety jsou dodávány v provedení s feritovým nebo neodymovým magnetickým jádrem,
- trubkové separátory je možné využít na separaci feromagnetických částic z chemikálií, plastů, krmiv, osiv, potravinářských či farmaceutických látek,
- velikost jádra by měla být stejná jako průměr stávajícího potrubí,
- permanentní magnety kruhového tvaru jsou umístěny ve středu trubky tak, že je materiál obtéká,
- trubkový magnet se používá jako prevence proti poškození formovacího zařízení, mixérů, drtičů a dalších zařízení nebo v potravinářství a cukrovarnictví, při krmení dobytka, ve farmaceutickém, keramickém nebo cementářském průmyslu nebo pro vylepšení finálních produktů.

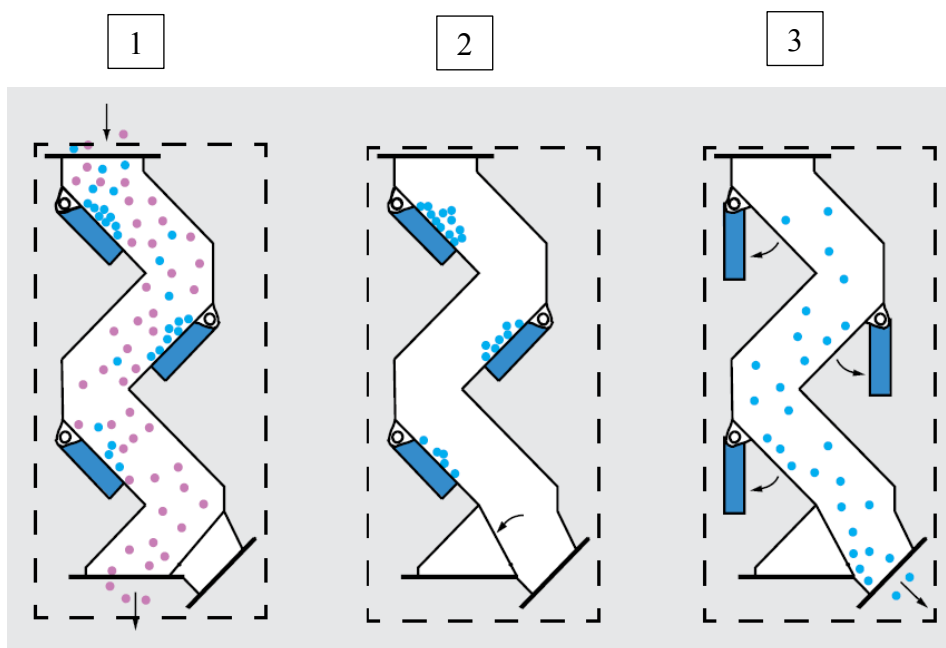


Obr. 3 Trubkový separátor[26]

1.2.3 KASKÁDOVÉ SEPARÁTORY

- tento druh separačních systémů se používá všude tam, kde je potřebné separovat nežádoucí feromagnetické částice z velkého množství sypkých materiálů,
- kaskádové systémy se vyrábí v provedení manuálně obsluhovaném nebo automatickém provedení,
- kaskádové systémy mají široké spektrum využití a je snadné je instalovat do existujících systémů,
- do výstupu systémů je možné zařadit záklopku, která ulehčuje čištění systému od nežádoucích železných částic. Jakmile je záklopka otevřená je možné odstranit zachycené železné částice ze separátoru do připraveného sběrného systému (nádob, dopravník, skluz apod.),
- při automatické verzi na vyčištění systému stačí stisk jednoho tlačítka. Všechny komponenty automatického provedení splňují normy ISO a CETOP. Každý model může být dále vybavený inspekčními okénky,
- kaskádové separátory jsou určeny pro vertikální dopravní cesty,

- permanentní magnety jsou uloženy kaskádově vně lomeného potrubí ve dvou anebo třech stupních.



Obr. 4 Kaskádový separátor[26]

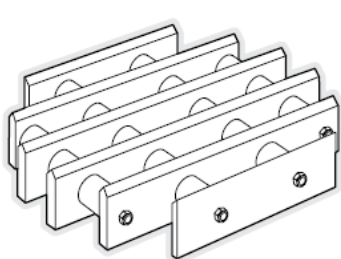
1	Materiálový tok prochází kaskádovým systémem.
2	Materiálový tok je přerušený, aby bylo možné odstranit zachycené kovové částice, záklopka se překlopí
3	Otočením magnetů se magnetické pole oddálí a zachycené částice samovolně odpadnou.

1.2.4 SEPARAČNÍ ROŠTY A TYČE

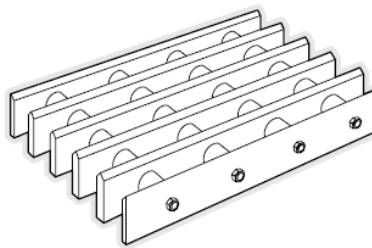
- separační rošty a tyče představují velmi výkonný systém,
- využívají se pro oddělování jemných feromagnetických částic ze sypkého materiálového toku,
- umísťují se do stávajících potrubí, násypek a skluzů,
- magnetické rošty mají široký rozsah použití v potravinářském, plastikářském, chemickém, farmaceutickém průmyslu či zemědělské výrobě,
- aby byla zajištěna odolnost separátorů vůči korozi a dobrá mechanická odolnost, magnetický systém je vždy v pouzdře z nerezové oceli (AISI 304),
- pokud jsou požadavky na hygienu v nasazeném prostředí zpřísněná (potravinářský a farmaceutický průmysl), obal magnetického systému je z nerezavějící oceli 1.4404, jejíž povrch je navíc speciálně povrchově upraven (elektrolyticky leštěný),
- rozměry a rozmístění magnetického systému jsou důkladně zkalkulovány tak, aby byla separace dostatečně účinná a nedocházelo k ucpávání dopravního systému,



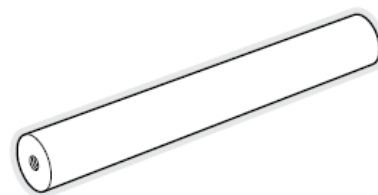
- magnetické rošty a tyče mohou být v provedení s feritovým magnetickým systémem (použití do maximální teploty 150 °C) nebo silnějším neodymovým (NdFeB) magnetickým systémem (do 90 °C),
- čtvercové magnetické rošty je možné vybavit extraktorem pro zjednodušení čištění od zachycených feromagnetických nečistot.



Obr. 5 Čtvercový magnetický rošt (A) [26]



Obr. 6 Čtvercový magnetický rošt (B) [26]



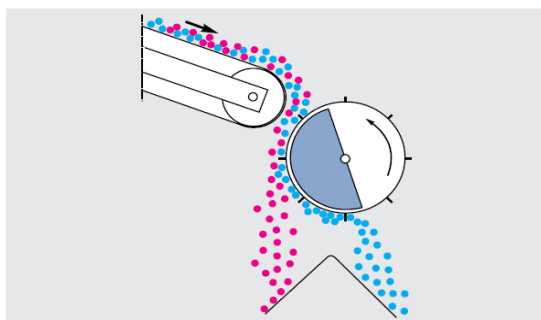
Obr. 7 Filtrační tyč [26]

1.2.5 BUBNOVÉ SEPARÁTORY

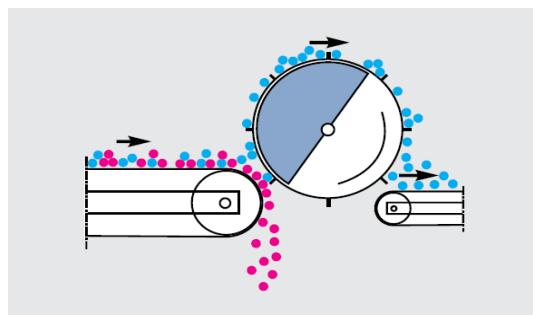
- bubnové separátory slouží k odstraňování feromagnetických nečistot z velkého množství suroviny a nasazují se hlavně odpadovém hospodářství při zpracování komunálního odpadu, zpracování plastů, dřeva, těžebním průmyslu. Jejich výhodou je přímý kontakt separovaného materiálu se separačním magnetem a automatická separace,
- permanentní magnetické válce se obvykle vyrábějí z feritů nebo z velmi silných magnetů na bázi kovů vzácných zemin NdFeB,
- často se používají v těžkém průmyslu pro odstranění náhodných ocelových předmětů na koncích dopravníkových pásů,
- základní tři typy bubnových separačních systémů:

BUBNOVÉ MAGNETY:

- magnetický systém sestává z magnetického sektoru s úhlem 180 °, kolem kterého se otáčí buben z nerezavějící oceli. Nasazují se obvykle za dopravníkové pásy.



Obr. 8 Bubnový magnet (funkce A) [26]



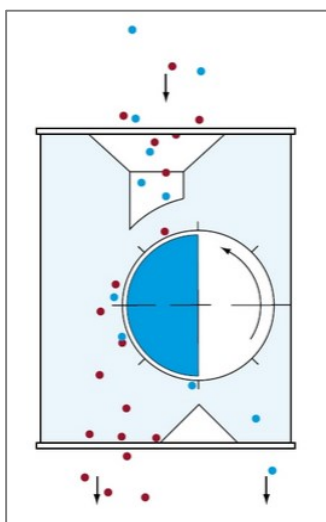
Obr. 9 Bubnový magnet (funkce B) [26]

BUBNOVÉ MAGNETY S KRYTOVÁNÍM:

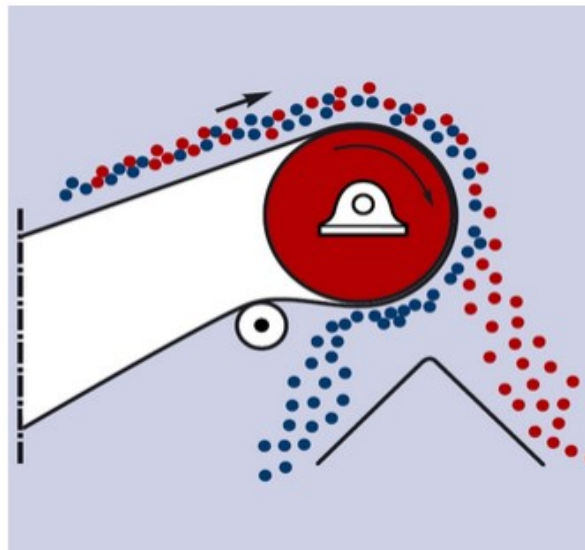
- jsou to vlastně bubnové magnety umístěné v krytu, s pohonem a výstupy na surovinu a odseparované feromagnetické nečistoty. Instalují se za dopravníkové pásy, potrubní systémy, skluzu a podobně.

MAGNETICKÉ HNACÍ VÁLCE:

- magnetický systém je z plného magnetického sektoru s úhlem 360° ,
- nasazují se namísto vratných bubnů pásových dopravníků.



Obr. 10 Bubnový magnet s krytováním [26]



Obr. 11 Magnetický hnací válec [26]

1.2.6 ZÁVĚSNÉ SEPARÁTORY S PERMANENTNÍMI MAGNETY

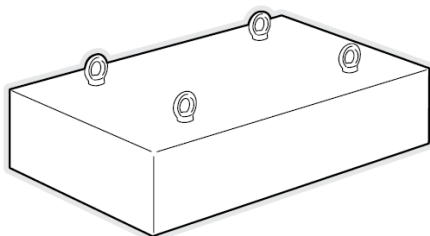
Závěsné magnetické separátory jsou systémy určené hlavně pro nasazení v odpadovém hospodářství při zpracování komunálního odpadu, zpracování plastů, dřeva, těžebním průmyslu. Tyto typy separátorů mají díky své konstrukci dostatečně hluboké magnetické pole na vytažení feromagnetických nečistot i z větších hloubek (třeba při velké výšce materiálového toku). Tyto typy separátorů se ve většině případů nasazují nad dopravníkové pásy, po kterých je přepravována surovina, z níž je třeba „vytáhnout“ feromagnetické nečistoty, často velkých rozměrů s hmotností i několik kilogramů. V současnosti se tyto typy separátorů téměř výhradně osazují magnetickým systémem s permanentními magnety. Tyto separátory postupně nahrazují starší elektromagnetické separátory, protože jsou účinnější a úspornější. Závěsné permanentní magnetické separátory se dále používají pro separaci železných předmětů ze stavebního a demoličního odpadu, elektrických kabelů a automobilových pneumatik. Magnetická separace také pomáhá při recyklaci skla, dřeva, plastů, plechovek od barev, pro recyklaci papíru a pro čištění strusky a popela ze spaloven odpadu. Do této skupiny separátorů patří:

BLOKOVÉ MAGNETY:

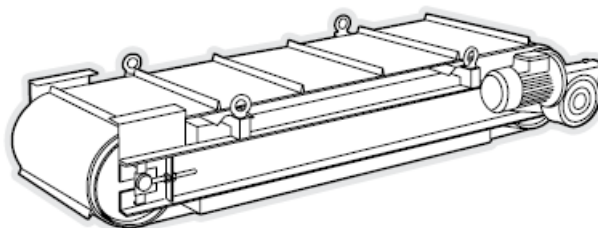
- jednoduché magnety osazené většinou feritovým magnetickým systémem. Čištění se provádí ručně, takže jsou vhodné pro nasazení v aplikacích, kde se železné nečistoty v



surovině vyskytují náhodně, zřídka a magnet stačí vyčistit jen občas, v delších časových intervalech. Tento typ je statický, tedy bez čistícího pásu.



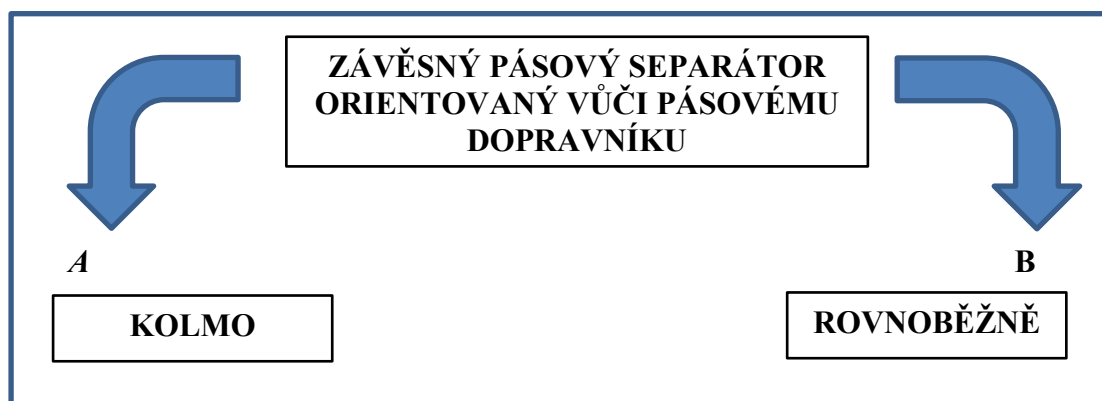
Obr. 12 Blokový magnet [26]

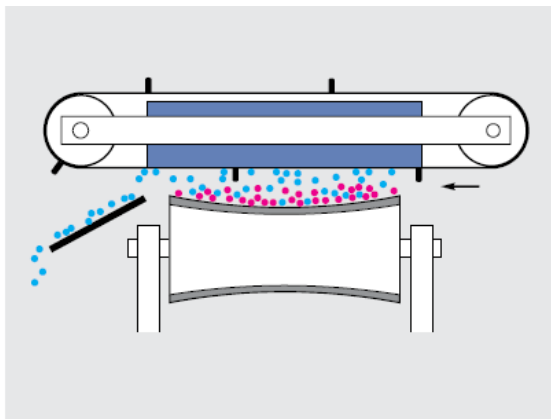


Obr. 13 Pásový separátor [26]

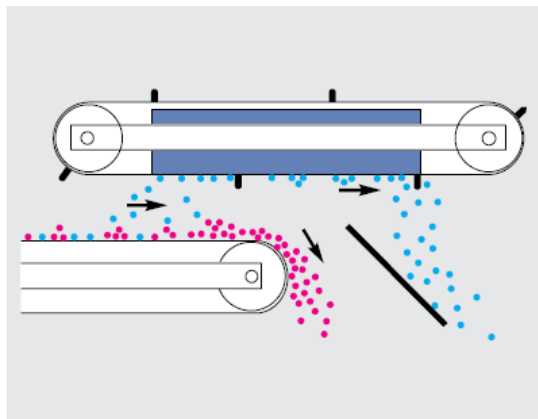
ZÁVĚSNÉ PÁSOVÉ SEPARÁTORY S PERMANENTNÍMI MAGNETY:

- závěsný pásový (samočistící) magnetický separátor s permanentními magnety v angličtině nazvaný „Overbelt Overband Magnetic Separator“,
- v podstatě se jedná o blokové magnety vybaveny vlastním pásovým dopravníkem, který zajišťuje automatické čištění magnetu,
- nasazení v aplikacích, kde je výskyt železných nečistot masivní a ruční čištění by bylo neefektivní nebo v plně automatizovaných provozech,
- pásový dopravník vynáší zachyceny feromagnetické nečistoty do sběrné nádoby nebo na jiný dopravní systém,
- používají se pro odstranění náhodných kusů feromagnetických materiálů z dopravníkových pásů, skluzů za účelem ochrany dalšího zařízení nebo v průmyslových odvětvích, které dále zpracovávají komunální a průmyslový odpad,
- jejich velkou výhodou je nepřítomnost elektrického napájení oproti elektromagnetickým separátorům, které je jinak požadováno pro generování magnetického pole,
- k samočištění velkou mírou přispívají unašeče, kterými je opatřen dopravníkový pás.





Obr. 14 Pásový separátor (umístění A) [26]



Obr. 15 Pásový separátor (umístění B) [26]

1.2.7 ZÁVĚSNÉ PÁSOVÉ SEPARÁTORY S ELEKTROMAGNETEM

- pro větší průmyslové separace,
- vhodné pro intenzivní a náročnou separaci těžkých kovových kusů o tloušťce až 600 mm,
- vlivem velkých magnetických sil při separaci velkých kusů je zařízení mimořádně efektivní,
- elektromagnety efektivně separují feromagnetické materiály v těžkých průmyslových aplikacích z materiálů, jako je uhlí, vápenec, písek a další,
- magnetické pole v těchto zařízení generují cívky napájené stejnosměrným elektrickým proudem. Elektromagnety v závislosti na velikosti cívek dokážou generovat velmi silné magnetické pole,
- elektromagnet používá kruhové hliníkové nebo měděné vodiče k vytvoření silného elektromagnetického pole, které jsou chlazené olejem nebo vzduchem.



Obr. 16 Závěsný pásový separátor s elektromagnetem [30]



1.3 VÝROBCI ZAŘÍZENÍ SLOUŽÍCÍCH K MAGNETICKÉ SEPARACI

Účelem této podkapitoly je poskytnout základní ilustrativní přehled o zařízeních sloužících k magnetické separaci. S tím je spojen i úzký seznam vybraných výrobců těchto zařízení z různých zemí, které jsem se rozhodl do této práce zařadit, pro jejich široké nabízené produktové portfolio a také pro jejich zeměpisnou lokaci. Z důvodu přílišné obsáhlosti podkapitoly byly vybrány pouze některá zařízení vybraných výrobců. Tato kapitola má omezený rozsah a má pouze informativní charakter, avšak jedná se o zakončení problematiky, která je obsahem první kapitoly této práce.

1.3.1 VÝROBCI A JEJICH PRODUKTY



*Obr. 17 Logo firmy
ConveyorTek [23]*

CONVEYORTEK:

- webová adresa: <http://www.conveyortek.com>
- zeměpisná lokace: Severní Irsko (Lisburn)



*Obr. 17 Blokový magnet
(ConveyorTek)[23]*



*Obr. 18 Pásový separátor
(ConveyorTek)[23]*



*Obr. 19 Pásový separátor
s elektromagnetem (ConveyorTek)[23]*

COGELME:

- webová adresa: <http://www.cogelme.it/>
- zeměpisná lokace: Itálie (Tortona)



Obr. 20 Logo firmy Cogelme [24]



*Obr. 21 Magnetický rošt (Cogelme)
[24]*



Obr. 22 Pásový separátor (Cogelme)[24]

**ERGA:**

- webová adresa: <http://www.rusmagnet.com>
- zeměpisná lokace: Ruská Federace (Kaluga)

*Obr. 23 Logo firmy
Erga [25]*



*Obr. 24 Magnetický hnací válec
(Erga)[25]*



*Obr. 25 Magnetický buben
(Erga)[25]*



*Obr. 26 Závěsný blokový magnet
(Erga)[25]*

BLS MAGNET:

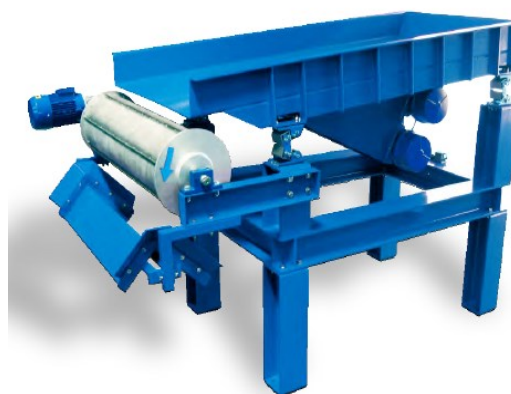
- webová adresa: <http://www.blsmagnet.com>
- zeměpisná lokace: Francie (Villers la Montagne)



Obr. 27 Logo firmy BLS Magnet[26]



Obr. 28 Pásový separátor (BLS magnet)[26]



Obr. 29 Magnetický buben (BLS Magnet)[26]



*Obr. 30 Magnetický hnací válec (BLS
Magnet)[26]*

**SOLLAU:**

- webová adresa: www.sollau.com
- zeměpisná lokace: Česká Republika (Velký Ořechov)



Obr. 31 Logo firmy Sollau [27]



Obr. 32 Magnetický rošt (Sollau)[27]



Obr. 33 Deskový separátor (Sollau)[27]



Obr. 34 Pásový separátor (Sollau)[27]

STEINERT:

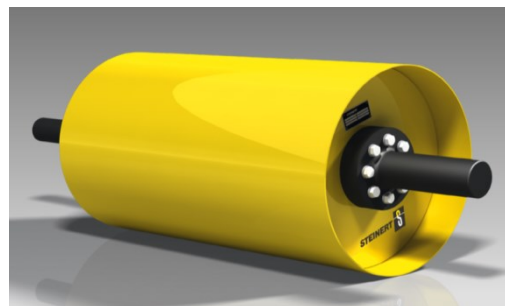
- webová adresa: <http://www.steinertglobal.com>
- zeměpisná lokace: Německo (Köln)



Obr. 35 Logo firmy Steinert [28]



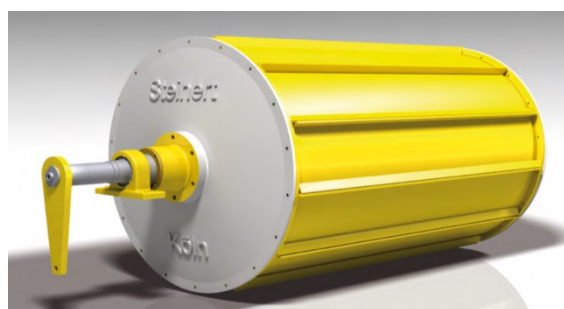
Obr. 36 Závěsné magnety (Steinert)[28]



Obr. 37 Magnetický hnací válec (Steiner)[28]



Obr. 38 Pásový separátor (Steinert)[28]



Obr. 39 Magnetický buben (Steinert)[28]



2 VÝBĚR A POSOUZENÍ KONKRÉTNÍHO MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU

Z celé škály výše zmíněných magnetických separátorů jsem se rozhodl pro konstrukční návrh závěsného separátoru s permanentními magnety anglicky „over band over belt magnetic separator“. Schématické vyobrazení tohoto separátoru je na Obr. 13, který je součástí první kapitoly. Nyní zbývá definovat pracovní prostředí a jeho podmínky, výběr materiálů určených k separaci a nakonec předběžný konstrukční návrh řešení, který bude podkladem pro technickou zprávu obsaženou v třetí kapitole této práce. Dále uvedený text v kapitole dva obsahuje určité úvahy, teze a předpoklady, které bylo nutné vyjádřit a stanovit pro zdárné dokončení této práce, neboť navrhované zařízení je velice specifické a vzhledem k nulovým zkušenostem s návrhem takovýchto zařízení to bylo i naprosto nezbytné, byť se může zdát, že uvedené úvahy, teze a předpoklady nemusí být ve všech ohledech zcela správné.

2.1 VÝBĚR PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ A PRACOVNÍCH PODMÍNEK PROSTŘEDÍ

2.1.1 PODMÍNKY PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ

Zde je nutné vyvodit určité předpoklady vzhledem k podmínkám, ve kterých se magnetický separátor může pohybovat, a které ho mohou ovlivňovat.

Mezi ty základní patří: teplota, tlak, vlhkost vzduchu, nadmořská výška.

2.1.2 VÝBĚR MATERIÁLŮ URČENÝCH K SEPARACI

Výběr materiálů určených k separaci je jedním z nejdůležitějších vstupů pro návrh každého magnetického separátoru, neboť jednotlivé magnetické separátory jsou navrhovány hlavně s ohledem na pracovní podmínky, ve kterých pracují a na materiál, který separují. S tím jsou spojeny i odlišné maximální přípustné složení, rozměry, hmotnosti a objemy materiálu určeného k separaci pro každý konkrétní separátor. V případě zpracování průmyslového a komunálního odpadu v separačních a recyklačních střediscích je magnetický separátor většinou součástí celých separačních linek, kde jsou dlouhé, hmotné a objemné odpady odstraněny ostatními zařízeními separačních linek ještě předtím než dojdou k pracovnímu prostoru magnetického separátoru. Nastává zde ovšem jiný, ale vážný problém a tím je definice složení materiálu určeného k separaci. Určení složení materiálu (odpadu) určeného k separaci ze směsi komunálního a průmyslového je dle mého názoru velice složité, náročné ne-li zcela nemožné, protože složení odpadu se neustále mění, dle svezeného odpadu v konkrétních separačních střediscích a jednotlivých zemích a není tedy konstantní. Návrh takovýchto zařízení vyžaduje velké empirické zkušenosti s konstrukcí a provozem samotných zařízení. Proto jsem se pro svou práci rozhodl definovat materiál určený k separaci a jeho cestu následujícím způsobem. Předpokládám, že materiál určený k separaci bude tvořen: částmi nábytkových celků, poškozených palet, použitých osb desek a jiného dřevěného odpadu, který obsahuje spojovací a jiný kovový feromagnetický materiál (ocel) jenž bude ze dřeva separován. Před kontaktem s pracovním prostorem magnetického separátoru musí odpad projít drtičem. Dle velikosti drtiče je odpad vkládán do pracovního prostoru drtiče buď po jednotlivých deskách či paletách nebo po větších celcích. Drtič odpad rozdrťí a z rozdrčeného odpadu vzniknou tenké třísky v případě dřeva, v případě osb desek se jedná o jemnější strukturu odpadu. Mezi dřevěným odpadem se po rozdrčení nyní nacházejí volně ložené spojovací feromagnetické elementy, které spolu se směsí dřevěného odpadu tvoří výstup z tohoto zařízení. Na tento výstup plynule navazuje pásový dopravník, který dopravuje rozdrčený odpad od výstupu z drtiče dále. Lze předpokládat také variantu, že rozdrčený odpad



určený k separaci je na pásový dopravník umisťován ručně ze zásobníkových zařízení jako například z kontejnerů přes usměrňovací násypku. Pásový dopravník dopravuje rozdrcený odpad k magnetickému separátoru, který je zavěšen nad pásovým dopravníkem. Obrázek napravo zobrazuje výstup z drtiče. Červená elipsa v Obr. 40 označuje výskyt feromagnetického materiálu ve formě spojovacího elementu, v tomto případě hřebíku. Dalším důležitým faktorem je předpokládané množství feromagnetických elementů v rozdrceném odpadu, který je určený k separaci. Toto množství je vždy proměnné podle druhu rozdrceného odpadu. Pro zjednodušení řešení předpokládám množství feromagnetických elementů za konstantní, tedy za konstantní hodnotu dosazuji extrémní hodnotu výskytu těchto elementů. Tato hodnota je hodnota zvolená a jako taková je blíže specifikována ve třetí kapitole této práce.



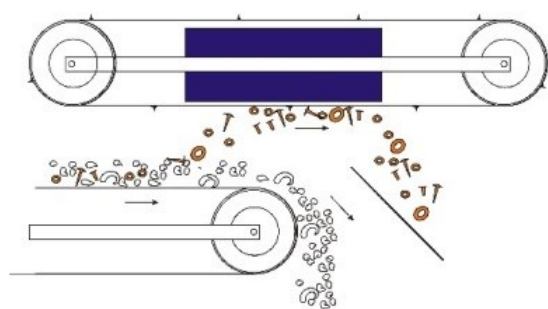
Obr. 40 Rozdrcený odpad určený k separaci [33]

2.1.3 PRACOVNÍ POZICE

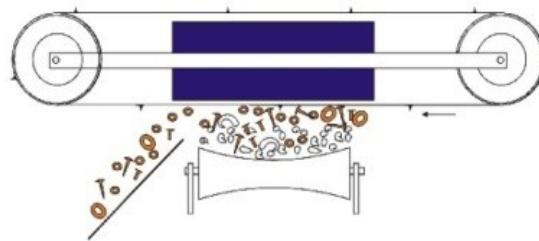
V minulé podkapitole byl vysloven předpoklad, že magnetický separátor bude zavěšen nad pásovým dopravníkem. Orientace pásového dopravníku vůči podlaze může být rovnoběžná, případně definovaná úhlem sklonu pásového dopravníku δ . Nyní zbývá definovat orientaci magnetického separátoru vůči pásovému dopravníku. O pracovních pozicích pro tento druh magnetického separátoru lze říct, že jsou v zásadě tyto pozice dvě. Tou první možností je orientování magnetického separátoru rovnoběžně s pásovým dopravníkem. Při tomto způsobu uspořádání se magnetický separátor většinou umísťuje na konec pásového dopravníku, kde odseparovaný feromagnetický materiál přechází přes přepadovou hranu do zásobníkového zařízení například do přistavených kontejnerů. Schematické zobrazení je na Obr. 41. Druhou možností je orientování magnetického separátoru kolmo vůči pásovému dopravníku. Takto situovaný magnetický separátor lze umístit dle potřeby kdekoli na příslušném místě po celé délce pásového dopravníku. Schéma tohoto uspořádání je na Obr. 42. Po úvaze nad jednotlivými možnostmi, jsem se rozhodl upřednostnit druhou variantu, hlavně pro její širokou variabilitu při umísťování magnetického separátoru. Neznámou nicméně zatím zůstává samotný typ a technické parametry pásového dopravníku pod magnetickým separátorem. Technické parametry pásového dopravníku jako rychlost pásu, šířka pásu, objemový a hmotnostní výkon a další, by měly být podle mého názoru známy ještě před návrhem a konstrukcí konkrétního magnetického separátoru. Většina výrobců totiž vedle



své produktové řady magnetických separátorů nabízí také návrh a konstrukci zařízení na zakázku. Tím lze podle mě docílit nejlepšího přizpůsobení konkrétnímu provozu a maximalizovat efektivitu procesu separace. Nevýhodou této volby bude pravděpodobně její cena, která u zařízení vyráběných na zakázku enormně stoupá. Dalším důležitým parametrem je tzv. hloubka separace. Jelikož je magnetický separátor zavěšen pomocí závěsných šroubů a řetězů nad pásovým dopravníkem v podstatě se jedná o kolmou vzdálenost mezi pásem pásového dopravníku a magnetem magnetického separátoru viz Obr. 41 nebo Obr. 42. Hloubku separace lze variabilně měnit zavěšením separátoru do požadované výšky nad pásový dopravník. Omezením pro hloubku separace jsou technické vlastnosti a parametry permanentního magnetu, respektive jeho magnetického pole. Konkrétně se jedná o tzv. efektivní výšku magnetického pole permanentního magnetu. Extrémní hodnota této veličiny je největší vzdáleností mezi pásem pásového dopravníku a magnetem magnetického separátoru. Lze tedy říct, že je zároveň i mezní hodnotou hloubky separace. Určení těchto parametrů je součástí třetí kapitoly.



Obr. 41 Separátor rovnoběžně s pásovým dopravníkem [31]



Obr. 42 Separátor kolmo vůči pásovému dopravníku [31]

2.2 HLAVNÍ ČÁSTI MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU

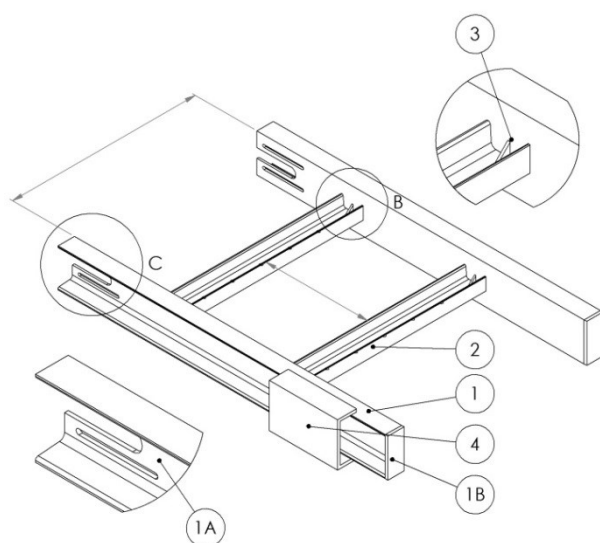
V minulé podkapitole definovány podmínky pracovního prostředí, výběru materiálu a pracovní pozice magnetického separátoru. Nyní je vhodné se zaměřit na jednotlivé části magnetického separátoru, na jejich navrhovanou konstrukci a celkové uspořádání.

2.2.1 RÁM

Prostudováním několika katalogů od různých výrobců magnetických separátorů jsem získal základní představu o možnostech konstrukce, složení a způsobu spojení jednotlivých částí rámu magnetického separátoru. Pro konstrukci rámu lze použít buď tyče průřezu U z oceli tříd 10 a 11 válcované za tepla nebo profilované plechy. V obou případech je spojení jednotlivých částí konstrukce rámu zajištěno svařováním a na materiál je kladen požadavek na dobrou obrobitelnost a svařitelnost spojovaných součástí. Těmto požadavkům nejlépe vyhovují oceli například 11 375 a 11 523. Rozhodl jsem se zvolit první z výše uvedených možností, tedy konstrukci rámu svařenou z jednotlivých tyčí průřezu U. Tato volba je nevýhodná z hlediska větší hmotnosti konstrukce oproti konstrukci z profilovaných plechů. Výhodou této varianty je naopak její jednoduchost a mimo jiné, také cenová dostupnost tyčových profilů U. Rám se skládá ze dvou rovnoběžných tyčí profilu U, které tvoří bočnice rámu. Na vybrané plochy těchto bočnic budou později umístěny domečková ložiska, ve kterých se bude otáčet hřídel hnacího respektive osa vratného bubnu. Bočnice rámu mají



označení **1**. Kolmo vzhledem k bočnicím rámu **1** jsou přivařeny na obou stranách dva krátké profily U, které jsou spojnicemi rámu a mají označení **2**. Spojnice rámu **2** jsou umístěny vedle sebe. Opět mezi sebou mají určitou vzdálenost, jak je zřejmé z obrázku. Svařením uvedených profilů **1** a **2** dostáváme základ rámu magnetického separátoru. Profily **1** a **2** jsou navíc vyztuženy plechovými výztuhami, které jsou přivařeny na každém konci spojnice rámu **2** k bočnici rámu **1**. Výztuhy rámu mají označení **3**. Bočnice rámu **1** obsahují obráběné plochy **1A** a **1B**, na kterých budou později umístěna domečková ložiska. Levá bočnice rámu **1** je spojena s deskou motoru **4**, kde způsob spojení mezi těmito dvěma součástmi bude blíže určen v následující kapitole. Spojnicemi rámu **2** jsou provrtány otvory pro pozdější uchycení permanentního magnetu. Zobrazené schéma na Obr. 43 je pouhým náčrtem možné konstrukce rámu a jako takové ho nelze považovat za řešení konečné.



- 1...bočnice rámu
- 1A...plocha pro ložisko
- 1B...plocha pro ložisko
- 2...spojnice rámu
- 3...výztuha rámu
- 4...deska motoru

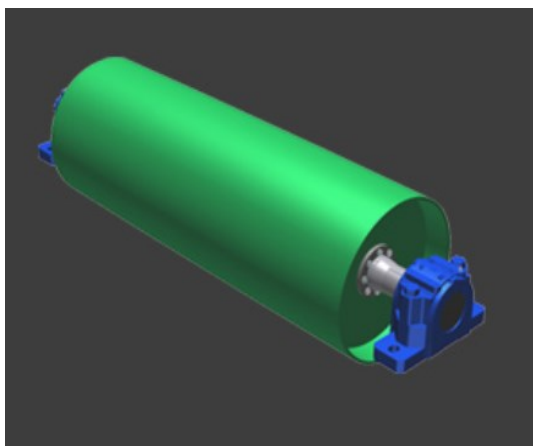
Obr. 43 Rám magnetického separátoru

2.2.2 HNACÍ A VRATNÝ BUBEN

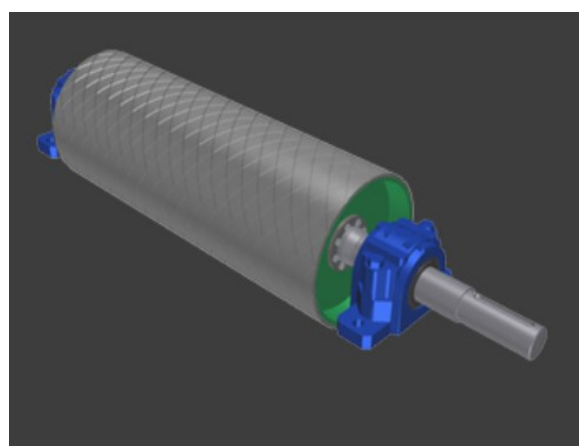
Dalšími součástmi magnetického separátoru jsou hnací a vratný buben. Vzhledem k prakticky stejnému uspořádání hnacích a vratných bubnů u magnetického separátoru i pásového dopravníku, předpokládám použití hnacího a vratného bubnu určeného pro pásové dopravníky. Bubny pásových dopravníků jsou buď lité, nebo svařované. Totožně s osou bubnu prochází osa hnacího hřídele. Hřídel uvnitř bubnu prochází otvory ve výztuhách bubnu, ke kterým je přivařen nebo jimi pouze prochází. Povrch pláště bubnu bývá rovný, rovný s konickými konci nebo mírně bombírován pro lepší vedení pásu. Hnací bubny musí zabezpečit přenos vysokých obvodových sil na pás. Proto bývá pro přenos vyšších výkonů za účelem zvětšení součinitele smykového tření jejich povrch pogumován a případně i opatřen vzorkem. V případě hladkých bubnů bez pogumování je významným faktorem hodnota drsnosti povrchu ocelového povrchu bubnu. Z toho následně vyplývá i hodnota součinitele smykového tření mezi ocelovým povrchem bubnu a gumovým pásem. Kromě již zmíněného tvaru a drsnosti povrchu bubnu, součinitele smykového tření mezi bubnem a pásem jsou dalšími důležitými parametry při výběru samotný průměr bubnu, tloušťka stěny bubnu, průměr hnacího hřídele a způsob spojení mezi hnacím hřídelem bubnu a bubnem, jelikož se hnací hřídel bubnu a hnací buben musí otáčet jako celek. U vratného bubnu je tomu stejně jen s tím rozdílem, že zde hovoříme o ose vratného bubnu, tedy o součásti, která nepřenáší točivý



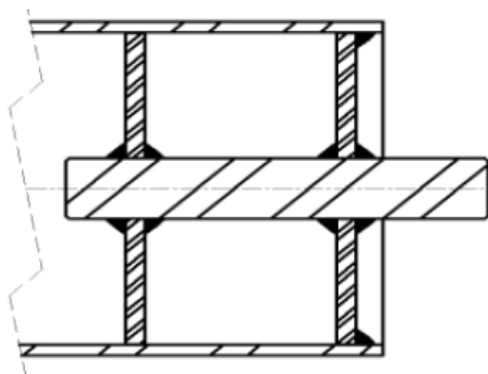
moment. Nejjednodušší možností spojení, je nerozebíratelný svarový spoj mezi hřídelem respektive osou a bubnem, jak je naznačeno na obrázku Obr. 50. Při tomto druhu spojení mám za to, že dochází k lokálnímu teplotnímu ovlivnění hřídele a bubnu, které může vést k deformaci obou součástí a vzniku lokálních napětí. Tomuto ovlivnění se lze vyhnout použitím svěrného (třecího) spojení, konkrétně různých koncepcí svěrných pouzder. Ta jsou vhodná především pro přenos malých a středních točivých momentů. V tomto případě se jedná o pouzdra kuželová. Výhodou bude jejich snadná montáž a demontáž, naopak nevýhodou bude jejich vyšší cena. Na Obr. 47 je spojení svěrným pouzdem dle katalogu [32]. Dále předpokládám napínání vratného bubnu pomocí dvojice napínacích šroubů. Kapitola byla zpracována dle [3], [16] a [32].



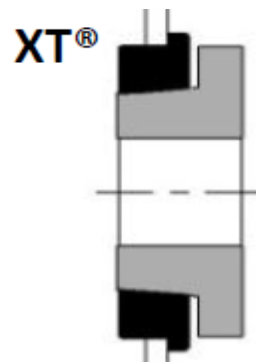
Obr. 44 Vratný (napínací) buben [16]



Obr. 45 Hnací buben [16]



Obr. 46 Svarové spojení bubnu a hřídele [32]



Obr. 47 Svěrné pouzdro typu XT [32]

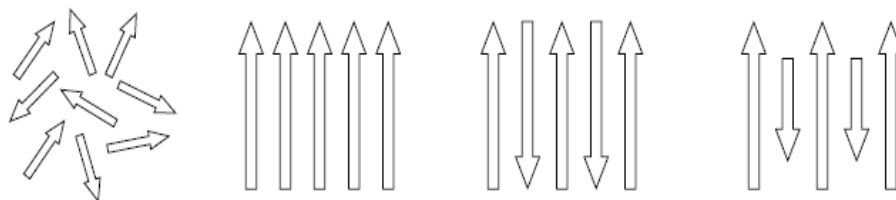
2.2.3 MAGNET

Magnet je hlavní součástí magnetického separátoru. Vedle geometrických parametrů, dopravní rychlosti, výkonu elektromotoru atd. jsou při návrhu či výběru magnetického separátoru velice důležité magnetické vlastnosti použitého magnetu respektive jeho magnetického pole. Magnet vytváří pole v každém bodě prostoru kolem sebe a lze ho popsat vektorovou veličinou \mathbf{B} , kterou nazýváme magnetická indukce. Magnet působí prostřednictvím svého magnetického pole. Častý typ magnetu je tvořen cívkou navinutou kolem ocelového jádra, kterou prochází elektrický proud. Jedná se tedy o elektromagnet, pro



který platí, že s rostoucí hodnotou elektrického proudu I sílí jeho magnetické pole. V

Paramagnetický, feromagnetický, antiferomagnetický a ferimagnetický materiál:



Obr. 48 Uspořádání magnetických momentů různých typů materiálů [20]

průmyslu lze právě takové elektromagnety použít ke třídění železného šrotu. Dalším důležitým faktorem je velikost a počet cívek. Naproti tomu permanentní magnety vytvářejí magnetické pole, aniž k tomu potřebují dodávat elektrický proud. Pohybující se elektricky nabitě částice, jako jsou nosiče náboje ve vodičích, vytvářejí ve svém okolí magnetické pole. Některé elementární částice (např. elektrony) mají kolem sebe také magnetické pole. Toto pole je jejich základní charakteristikou stejně jako hmotnost či elektrický náboj. V určitých látkách se skládají magnetická pole z elektronů a vytvářejí navenek výrazné magnetické pole. Tak je tomu u látek, z nichž jsou vyrobeny permanentní magnety. Magnetické materiály jsou magnetické, především díky svým elektronům. Feromagnetismus je vlastnost železa, niklu, kobaltu a několika málo dalších prvků (a jejich sloučenin a slitin). Některé elektrony v těchto materiálech seřadí souhlasně své výsledné magnetické dipólové momenty a vytvoří oblasti (domény) se silnými výslednými magnetickými momenty. Vnější magnetické pole pak může seřadit magnetické momenty těchto oblastí a vytvořit tak silné magnetické pole jako celku. Toto pole se částečně udrží, i když je vnější pole odstraněno. Ve feromagnetickém materiálu se vytvoří vnějším magnetickým polem výrazný magnetický dipólový moment ve směru B . Pokud je pole nehomogenní, feromagnetický materiál je vtahován „do pole“, tj. z oblasti s menší magnetickou indukcí směrem do oblasti s větší magnetickou indukcí. Pokud mluvíme o magnetismu v běžném významu tohoto slova, většinou si představujeme feromagnetický materiál se silným permanentním magnetismem. Feromagnetické materiály se dále dělí na antiferomagnetické materiály a ferimagnetické materiály. Antiferomagnetické materiály jsou takové materiály, kde jednotlivé atomy mají stejně velké a opačně orientované magnetické momenty. Ferimagnetické materiály mají jednotlivé atomy nesterpně velké a opačně orientované magnetické momenty. Vedle toho existují látky diamagnetické nebo paramagnetické, které se vyznačují slabými a dočasnými magnetickými vlastnostmi.

Tab. 1 Seznam použitých magnetických symbolů a veličin

symbol	veličina	jednotka
Q	Elektrický náboj částice	C=coulomb
v	Rychlost částice	$m * s^{-1}$
F_B	Lorentzova síla (magnetická síla)	N
e	Elementární náboj= $1,6 * 10^{-19}$	C



k	Konstanta= $9 * 10^9$	$N * m^2 * C^{-1}$
ϵ_0	Permitivita vakua	-
μ_r	Relativní (poměrná) permeabilita	-
μ	Permeabilita	$T * m * A^{-1} = H * m^{-1}$
Φ_B	Magnetický indukční tok	1 weber=1 Wb= $T * m^2$
B	Magnetická indukce	$T = N * s * m^{-1} * C^{-1} = N * A^{-1} * m^{-1}$
S	Obsah rovinné plochy	m^2
μ_0	Permeabilita vakua = $1,26 * 10^{-6}$	$T * m * A^{-1} = H * m^{-1}$
F_m	Magnetomotorické napětí	A
L	Střední délka siločáry magnetického pole	m
H	Intenzita magnetického pole	$A * m^{-1}$
φ	Úhel mezi směry rychlosti v a magnetické indukce B	deg

Z fyzikálního hlediska lze definovat následující magnetické veličiny:

MAGNETICKÁ INDUKCE **B**:

- vektorová fyzikální veličina, vyjadřující počet (indukčních) siločar magnetického pole procházejících jednotkovou plochou ($1 m^2$), kolmou na směr siločar - tj. hustotu (indukčních) siločar daného magnetického pole.

Fyzikální vztah pro výpočet magnetické indukce:

$$B = \frac{F_{Bmax}}{|Q| * v} = H * \mu = H * \mu_0 * \mu_r \quad 2.1$$

Jednotka magnetické indukce **B**:

$$1 \text{ tesla} = 1 T = N * s * m^{-1} * C^{-1} = N * A^{-1} * m^{-1}$$

LORENTZOVA SÍLA (MAGNETICKÁ SÍLA) **F_B**:

- vektorová rovnice pro Lorentzovu sílu, která určuje také její směr.

$$F_B = Q * v \times B \quad 2.2$$



Sila \mathbf{F}_B působící na nabitou částici je tedy rovna součinu jejího náboje Q a vektorového součinu její rychlosti \mathbf{v} a magnetické indukce \mathbf{B} . Použijeme-li rovnici pro velikost vektorového součinu, můžeme pro velikost Lorentzovy síly \mathbf{F}_B psát:

$$F_B = |Q| * v * B * \sin \varphi \quad 2.3$$

- síla \mathbf{F}_B je rovna nule, jsou-li vektory \mathbf{v} a \mathbf{B} rovnoběžné, ať už souhlasně ($\varphi = 0^\circ$) nebo nesouhlasně ($\varphi = 180^\circ$),
- síla \mathbf{F}_B je maximální, jsou-li \mathbf{v} a \mathbf{B} na sebe kolmé.

Bez ohledu na znaménko náboje však platí: Lorentzova síla \mathbf{F}_B která působí na nabitou částici pohybující se rychlostí \mathbf{v} v magnetickém poli \mathbf{B} , je vždy kolmá na oba vektory \mathbf{v} a \mathbf{B} .

Síla \mathbf{F}_B tedy nemá nikdy nenulovou složku do směru vektoru \mathbf{v} a nemůže tedy měnit velikost rychlosti částice (a tedy ani její kinetickou energii). Může měnit pouze směr rychlosti \mathbf{v} (a tím směr pohybu); jenom v tomto smyslu urychluje síla \mathbf{F}_B nabitou částici.

MAGNETICKÝ INDUKČNÍ TOK Φ_B :

- vektorová fyzikální veličina, vyjadřující počet (indukčních) siločar magnetického pole procházejících danou plochou, kolmou na směr orientace siločar.

$$\Phi_B = B * S \quad 2.4$$

Jednotka magnetického indukčního toku Φ_B :

$$1 \text{ weber} = 1 \text{ Wb} = T * m^2$$

INTENZITA MAGNETICKÉHO POLE \mathbf{H} :

- vektorová fyzikální veličina, vyjadřující „mohutnost“ magnetického pole v závislosti na faktorech, které pole vytvářejí (např. velikost elektrického proudu, tekoucího vodičem cívky) a nezávisle na parametrech prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno.

$$H = \frac{F_m}{L} = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{(\mu_0 * \mu_r)} \quad 2.5$$

Jednotka magnetického pole \mathbf{H} :

$$H = A * m^{-1}$$

**PERMEABILITA (PROSTUPNOST PROSTŘEDÍ) μ :**

- skalární fyzikální veličina, vyjadřující magnetickou polarizovatelnost (magnetickou „vodivost“, prostupnost pro magnetické pole) prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno. Ze vztahu pro magnetickou indukci (B) a současně intenzitu magnetického pole (H) vyplývá:

$$B = H * \mu \Rightarrow \mu = \frac{B}{H} \quad 2.6$$

Jednotka permeability μ :

$$1 \text{ henry na metr} = T * m * A^{-1} = H * m^{-1}$$

PERMEABILITA (PROSTUPNOST VAKUA) NEBO LI MAGNETICKÁ INDUKČNÍ KONSTANTA VAKUA μ_0 :

- skalární fyzikální veličina, vyjadřující magnetickou polarizovatelnost (magnetickou „vodivost“, prostupnost pro magnetické pole) vakua:

Permeabilita vakua μ_0 :

$$\mu_0 = 1,26 * 10^{-6} \quad 2.7$$

Jednotka permeability μ_0 :

$$\mu_0 = T * m * A^{-1}$$

RELATIVNÍ (POMĚRNÁ) PERMEABILITA NEBO LI PROSTUPNOST PROSTŘEDÍ μ_r :

- skalární fyzikální veličina, popisující relativní magnetickou polarizovatelnost (magnetickou „vodivost“, prostupnost pro magnetické pole) prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno. Tato fyzikální veličina tedy vyjadřuje, kolikrát je dané prostředí magneticky polarizovatelnější (magneticky „vodivější“, prostupnější pro magnetické pole), než vakuum - je to veličina bezrozměrná. Ze vztahu pro intenzitu magnetického pole (H) vyplývá:

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{(\mu_0 * \mu_r)} \Rightarrow \frac{B}{(\mu_0 * H)} = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r \quad 2.8$$

Materiály:

Feromagnetické

Paramagnetické

Diamagnetické

$$\mu_r \gg 1$$

$$\mu_r > 1$$

$$\mu_r < 1$$

Záměrem přehledu fyzikálních magnetických veličin byla snaha poskytnout co možná nejširší, byť pravděpodobně pouze základní pohled do problematiky magnetismu. Nyní je nutné zmínit magnetické parametry magnetů definované jeho výrobcí. Dle těchto parametrů lze magnet charakterizovat a zároveň to umožňuje provést vhodnou volbu konkrétního



magnetu pro danou aplikaci. Jak již bylo zmíněno v úvodu druhé kapitoly, při návrhu magnetického separátoru předpokládám použití permanentních magnetů.

PARAMETRY PERMANENTNÍCH MAGNETŮ:

- a) Remanenci B_r [T] se nazývá velikost magnetické indukce B , na které se ustálí pracovní bod magnetu po ukončení působení vnějšího magnetického pole (zbytkový magnetismus).
- b) Koercivita H_c [$A \cdot m^{-1}$] je intenzita magnetického pole, která působí proti magnetizaci tak, aby výsledná magnetická indukce B byla rovna nule. Je mírou odolnosti magnetu proti odagnetování (vyjadřuje míru snahy magnetu dostat se na nulovou energetickou hladinu).
- c) Maximální součin $(H * B)_{max}$ [$J \cdot m^{-3}$] udává celkovou míru magnetické energie magnetu. Odpovídá síle, kterou magnet působí na jiné feromagnetické materiály. Nejčastěji na železo. Čím je větší hodnota součinu $(H * B)_{max}$, tím menší může být objem magnetu potřebný pro danou aplikaci. Vysoce koercitivní magnety jako **SmCo** a **NdFeB** mají hodnoty H_c až přes 2000 kA/m.
- d) Magnetická polarizace J vyjadřuje rozdíl mezi magnetickou indukcí ve feromagnetické látce a ve vakuu. Magnetickou polarizaci lze vyjádřit vztahem:

$$\vec{J} = (\mu * \mu_0 * \vec{H}) - (\mu_0 * \vec{H}) = \vec{B} - \vec{B}_0 \quad 2.9$$

DŮLEŽITÉ POJMY:

Přítomnost magnetického pole se projevuje tzv. magnetickými jevy a účinky. Pro laického pozorovatele jsou patrné zejména jeho silové účinky na okolní tzv. feromagnetické látky především v blízkosti tzv. pólů zdroje magnetického pole.

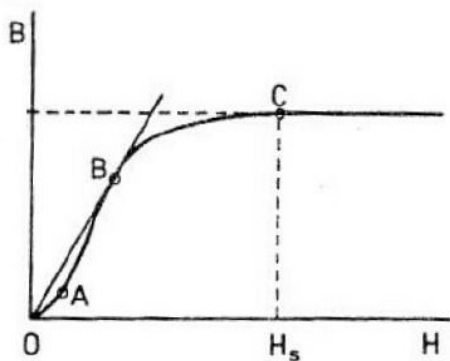
Dohodou bylo stanoveno označení magnetických pólů:

- a) „SEVERNÍ“ pól – mezinárodně označen písmenem „N“ (v české odborné literatuře často písmenem „S“) a na zdrojích magnetického pole (např. na permanentních magnetech) bývá označen barevným pruhem. Dohodou bylo stanoveno, že siločáry magnetického pole v místě severního pólu vystupují z tělesa zdroje magnetického pole.
- b) „JIŽNÍ“ pól - mezinárodně označen písmenem „S“ (v české odborné literatuře často písmenem „J“) a na zdrojích magnetického pole (magnetech) bývá bez označení. Dohodou bylo stanoveno, že siločáry magnetického pole v místě jižního pólu vstupují (vracejí se) do tělesa zdroje magnetického pole. Vnitřkem tělesa zdroje magnetického pole siločáry pokračují k severnímu pólu a tvoří uzavřené křivky (pole vírové), čímž se mj. liší od siločár elektrického pole (pole zřídlové).

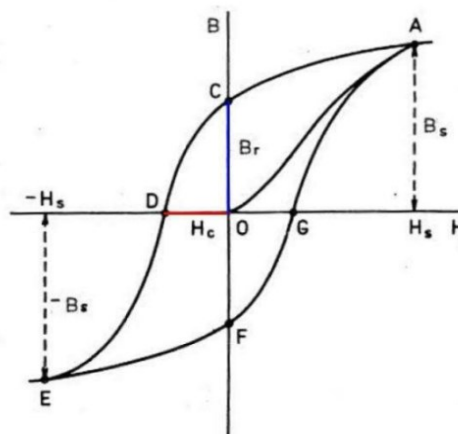


Křivka prvotní magnetizace:

- vyjadřuje závislost hodnoty magnetické indukce B na měnící se hodnotě intenzity magnetického pole H materiálu, který ještě nebyl magnetován (nebyl záměrně vystaven působení magnetického pole).



Obr. 49 Křivka prvotní magnetizace [16]



Obr. 50 Hysterezní smyčka [16]

Hysterezní smyčka:

- vyjadřuje závislost hodnoty magnetické indukce B na měnící se hodnotě intenzity magnetického pole H , při opakované a protisměrné magnetizaci daného feromagnetického materiálu,
- pro porovnání vlastností magneticky tvrdých materiálů je postačující II. kvadrant hysteresní smyčky (tato část je často označována jako demagnetizační křivka). Hodnoty zbytkové remanence B_r a koercitivity H_c charakterizují společně s maximálním energetickým součinem $(H * B)_{max}$ nejdůležitější magnetické vlastnosti trvalého magnetu.

Curie teplota:

- přechodová teplota, při které ztrácí feromagnetická látka svůj magnetismus (pojmenováno podle Madame Curie). Po překročení této teploty dochází k přeměně feromagnetické látky na paramagnetickou.

Přednostní osa orientace:

- pod pojmem přednostní osa orientace se rozumí uspořádání magnetických krystalů do určitého směru. V této přednostní ose orientace dosahuje trvalý magnet svých nejlepších magnetických parametrů; musí být magnetován v této ose,
- přednostní osy orientace se dosáhne tím, že během lisování je materiál (prach) vystaven silnému vnějšímu magnetickému poli. Magnety kruhové a válcové mají osu orientace většinou axiální, u hranolů prochází výškou, u segmentů je diametrální nebo radiální,

**Izotropní permanentní magnety:**

- nemají žádnou přednostní osu orientace. Směr a způsob magnetování je tedy libovolný.

Anizotropní permanentní magnety:

- jsou lisovány v magnetickém poli a dostávají tak přednostní osu orientace. Dobré magnetické vlastnosti mají pouze v této ose a mohou být magnetovány pouze v této ose. Při stejném objemu magnetu se dosáhne vyššího magnetického toku nežli u magnetů izotropních. Remanence je přibližně dvojnásobná.

Pracovní bod:

- je bod na demagnetizační křivce, jehož přiřazené hodnoty **B** a **H** jsou směrodatné pro výpočet. V zásadě platí: čím větší je délka magnetu ve směru magnetování, o to výš je položen pracovní bod. V uzavřeném magnetickém obvodu, ze kterého nevystupuje žádné pole, by byl pracovní bod na ose **B**. Hodnota **B**, pak odpovídá hodnotě **B_r** (remanenci).

MATERIÁLY PERMANENTNÍCH MAGNETŮ:**a) Feritové magnety**

- vyrábí se metodou sintrování (spékání práškové směsi za vysoké teploty a tlaku) z oxidů železa, baria a stroncia,
- mohou být vyráběny cestou práškové metalurgie jako anizotropní nebo izotropní,
- tvrdé ferity jsou cenově nejpříznivější a celosvětově zatím ještě nejvíce používané permanentní magnety,
- k výhodám patří právě jejich nízká cena,
- Curie teplota se pohybuje kolem 450 °C.

b) Magnety ze vzácných zemin

- trvalé magnety na bázi **SmCo** a **NdFeB**,
- vysoce výkonné,
- kvalitativně velmi hodnotné komponenty,
- používají se také v pohonech a regulaci,
- mají významně vyšší hodnoty koercitivity **H_c** nebo remanence **B_r** než feritové a **AlNiCo** magnety,
- při normálních podmínkách použití není nutná jejich povrchová úprava, bez které se v jiných podmínkách magnet projeví silnou náchylností ke korozi,
- Curie teplota se pohybuje kolem 80-200 °C.

c) AlNiCo magnety

- **AlNiCo** magnety se vyrábějí metodou slévání,
- dostupnost v široké škále tvarů,
- Curie teplota se pohybuje kolem 810-860 °C,



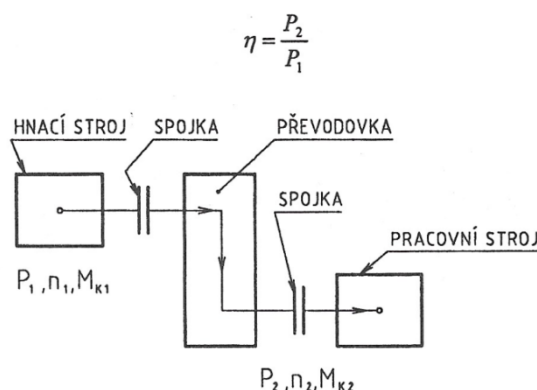
- použití v systémech, kde jsou vyžadovány materiály odolné vysoké teplotě,
- vyrábí se jako izotropní a anizotropní.

Různé magnetické materiály, kovové (vzácné zeminy), keramické (ferity) a magnety, pojené plastem, reprezentují různé magnetické oblasti. Kupříkladu se rozlišují sintrované anizotropní magnety **NdFeB** a anizotropní ferity magneticky tvrdé. Tyto se dále liší od izotropních tvrdých feritů, pojených plastem, vždy asi o desetinásobek energetického součinu $(H * B)_{max}$.

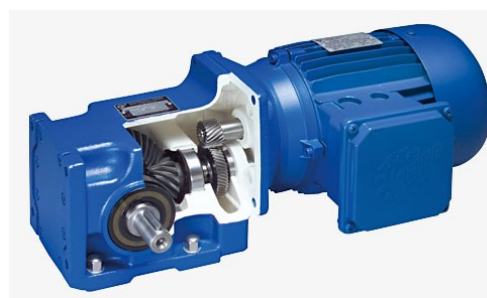
Pro magnetický separátor jsem se rozhodl vybrat anizotropní magnet ze vzácných zemin **NdFeB**. K jeho zvolení mě vedla jeho vysoká výkonnost, nižší hodnota Curie teploty vzhledem k tomu, že magnetický separátor bude pracovat za normálních teplotních podmínek a neposlední řadě také proto, že v případě magnetického separování jsou vhodnější pro separaci drobnějších feromagnetických předmětů (materiálů) např. oproti feritovým magnetům poskytují vyšší výkon při menších rozměrech magnetu. Naproti tomu feritové magnety jsou vhodné zejména pro separaci objemnějších předmětů. Výběr konkrétního **NdFeB** magnetu je součástí třetí kapitoly. Tato kapitola byla zpracována dle [9], [20] a [29].

2.2.4 POHONNÉ A PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Magnetické separátory a pásové dopravníky mají kromě téměř identického uspořádání hnacího a vratného bubnu i velice podobné pohonné a převodové ústrojí.



Obr. 51 Blokové schéma převodu od motoru na pracovní stroj[6]

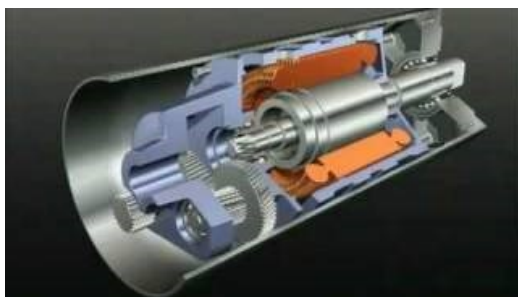


Obr. 52 Kuželočelní převodovka a elektromotor NORD[13]

Obdobně jako u většiny pásových dopravníků, je základem pohonného ústrojí magnetického separátoru třífázový asynchronní elektromotor napájený z elektrické sítě, který generuje točivý moment. Tento točivý moment je přenášen hnací hřídelí elektromotoru dále. Převody tvoří spojovací články mezi částmi strojů. Přenášejí a popřípadě rozdělují energii přiváděnou z hnacího stroje na pracovní stroj. Hlavním důvodem, pro který se převody používají jako spojovací články ve strojních zařízeních je, že rychlosti, potřebné pro funkci pracovního stroje obvykle nesouhlasí s rychlostmi stroje hnacího. Totéž platí pro otáčky. Je-li převod otáčkové frekvence dopomala, jedná se o reduktory (převodovky), přivádí-li se otáčková frekvence dorychla, jedná se o multiplikátory. Nejrozšířenější jsou převody mechanické. Mechanické převody se používají při přenosu točivého momentu z hřídele hnacího na hnaný. Točivý pohyb se přenáší tak, že se mění frekvence otáček a tím i kroutící momenty. Přenášený výkon se teoreticky nemění. Ve skutečnosti se zmenší o ztráty převodu. Výkon P_1 na vstupu převodu a P_2 na výstupu patří k základním parametrům



převodu a jejich poměr vyjadřuje jeho účinnost. U mechanických převodů se k přenosu sil a pohybů z hřídele hnacího na hřídel hnaný používá kol, která jsou spojena buď přímo (přímé kontaktní spojení) nebo nepřímo (ohebným členem). Spojení v obou případech může být třecí (silové) nebo tvarové. Obecným účelem převodovek je redukce otáček při současném zvýšení točivého momentu. V případě volby převodové ústrojí je v současné době několik technických koncepcí, které jsou upřednostňovány výrobci, jak magnetických separátorů, tak i pásových dopravníků pro své produkty. Pro všechny koncepce je z hlediska klasifikace plynulosti provozu předpokládán rovnoměrný provoz. Pro odlišení, jsou jednotlivé koncepce označeny velkými písmeny **A**, **B**, **C**, **D**. První dvě koncepce **A** a **B** obdobně jako u pásových dopravníků obsahují poháněcí stanici, která slouží k zajištění pohonu magnetického separátoru. Skládá se většinou z elektromotoru, převodové skříně, spojku, brzdy a hnacího bubnu. Při tomto způsobu uspořádání jsou výše zmíněné části poháněcí stanice umístěny u hnacího bubnu a spojeny s jeho hnací hřídelí. Největším rozdílem koncepcí **A** a **B** je druh použité převodovky. Koncepce **A** využívá k přenosu točivého momentu kuželočelní převodovky. Kuželočelní převodovky jsou úhlové převodovky, kde vstupní a výstupní hřídele svírají 90° úhel. Díky tomu se dá docílit výhodného prostorového uspořádání. Dle katalogu firmy **NORD** je největší výhodou kuželočelních převodovek prakticky konstantní účinnost v širokém rozsahu dodávaných převodových poměrů, je srovnatelná s čelními nebo plochými převodovkami.



Obr. 53 Elektrobuben [31]



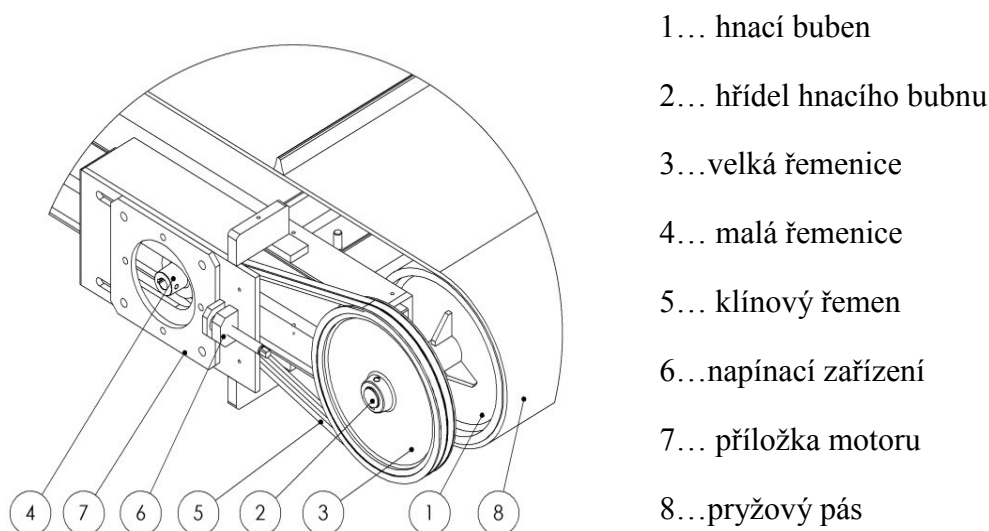
Obr. 54 Šneková převodovka s čelním předstupněm a elektromotor NORD[13]

Koncepce **B** využívá k přenosu točivého momentu šnekové převodovky s čelním předstupněm. Šnekové převodovky s čelním předstupněm jsou úhlové převodovky, kde vstupní a výstupní hřídele svírají 90° úhel. Dle katalogu **NORD** šnekové převodovky s předstupněm dosahují účinnosti až 92 %. Koncepce **C** je spojením pohonného, převodového ústrojí a hnacího bubnu do jednoho jediného celku tzv. elektrobubnu. Využití elektrobubnu je vhodné zejména tehdy pokud konstrukce nedovoluje použití výše zmíněných koncepcí např. z důvodu nedostatku pracovního prostoru. Pořízení tohoto zařízení je finančně náročnější investicí např. oproti koncepci **D** zmíněné níže. Koncepce **D** využívá řemenového převodu. Krouticí moment se přenáší ohebným členem tj. řemenem z hnacího hřídele na hnaný. Ohebný člen je opásán přes kola řemenových kotoučů, tj. řemenic, upevněných na hřídelích. Řemenové převody se používají pro přenos malých a středních výkonů na rovnoběžné hřídele. K přednostem patří nízké výrobní náklady, tichý chod, neboť řemen svou pružností, popř. prokluzem tlumí rázy. Prokluz při přetížení má také funkci pojistky. Řemenové převody nevyžadují přesnou výrobu ani pečlivou montáž a snadno se udržují. K nedostatkům patří větší rozměry převodů, nepřesnost převodu vyplývající z třecí vazby a větší zatížení hřídelů a ložisek vlivem nutného předpětí řemene. Jako ohebný člen je použit v tomto případě klínový řemen, který má profil rovnoramenného lichoběžníku s vrcholovým úhlem $\alpha = 40^\circ$. Klínové řemeny se vyrábějí z pryže, vyztužené několika vrstvami textilních pásů a v celku (uzavřené)



v několika délkách. Klínové řemeny jsou vhodné pro přenášení velkých výkonů, zejména při malé vzdálenosti hřídelů. Jsou normalizovány a mohou pracovat ve vlhkém prostředí s provozní teplotou od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$. Součástí řemenového převodu je malá a velká řemenice. Odlité řemenice se vyrábějí ze šedé litiny 42 2415 nebo 42 2420, rychloběžné pak z ocele na odlitky 42 2640 nebo 42 2650, menší řemenice z hliníkové slitiny 42 4357. Ocelové řemenice větších průměrů se svařují z ocelových plechů 11 373 nebo 11 523 a jsou lehčí než řemenice lité.

Jako převodové ústrojí pro magnetický separátor jsem se z důvodu jednoduchosti konstrukce, ale také z ekonomických důvodů, rozhodl vybrat řemenový převod. Předpokládám umístění velké řemenice na hřídeli hnacího bubnu. Spojení mezi velkou řemenicí a hřídelí hnacího bubnu lze realizovat těsným perem. V případě malé řemenice (řemenový pastorek) předpokládám její spojení s hnacím hřídelem elektromotoru rovněž těsným perem. Jako ohebný člen mezi velkým a malým řemenovým kolem bude sloužit klínový řemen. Schématické zobrazení tohoto uspořádání je na Obr. 58. Upřesnění parametrů a samotný výpočet řemenového převodu spolu s výběrem vhodného elektromotoru je součástí třetí kapitoly. Tato kapitola byla zpracována dle [6] a [7].

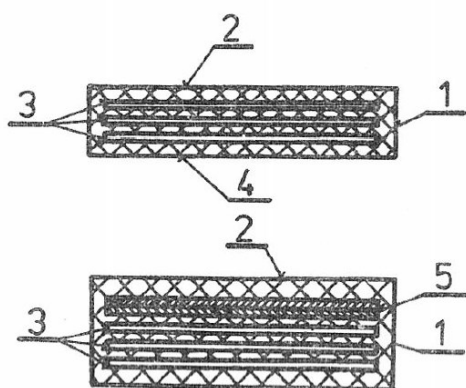


Obr. 55 Schématické uspořádání řemenového převodu

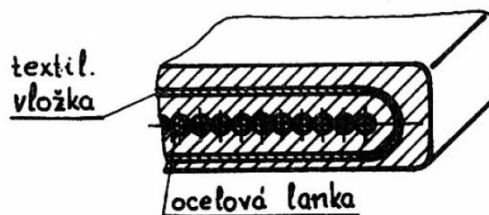
2.2.5 DOPRAVNÍ PÁS

Posledním hlavním komponentem je dopravní pás, který je opásán kolem hnacího a vratného bubnu magnetického separátoru. Předpokládám použití dopravního pásu určeného pro pásové dopravníky. Podkapitola byla zpracována podle [3], [17] a [18].

Dopravní pásy se skládají z nosné kostry tvořené textilními vložkami z bavlny, polyamidu, případně z jejich kombinací oboustranně chráněné gumovými krycími vrstvami a gumovými ochrannými okraji. Textilní vložky jsou vzájemně spojené tenkými vrstvami z měkké pryže. Horní krycí vrstva má za účel chránit textilní kostru před abrazivními účinky materiálu, atmosférickými vlivy a případným jiným mechanickým poškozením, dolní krycí vrstva ji chrání před abrazivními účinky nosných válečků a bubnů. Tloušťka horní krycí vrstvy bývá zpravidla 1,5 až 5 mm, dolní 1,5 až 2 mm, bočních ochranných okrajů 5 až 20 mm – podle dopravovaného materiálu.



Obr. 56 Řez dopravního pásu [3]



Obr. 57 Dopravní pás z ocelových lanek [3]

- 1...boční ochranný okraj
- 2...horní krycí vrstva;
- 3...pogumované textilní vložky
- 4...dolní krycí vrstva
- 5... ochranné vložky z pogumované tkaniny

Podle konstrukce mohou být pásy:

- kryté, jejichž textilní kostra je kryta ochrannými vrstvami gumy ze všech stran
- řezané, vybavené pouze horní a dolní vrstvou gumy
- nekryté, bez ochranných vrstev měkké gumy

Dopravní pásy se vyrábí celistvé a nespojené. Celistvé pásy jsou již při výrobě spojené vulkanizací na předepsanou délku, tj. na délku vnitřního obvodu pásu. Nespojené pásy mají oba konce volné a spojují se dodatečně buď vulkanizací za studena, za tepla nebo mechanicky.

Potřebná tuhost v pásu je zajišťována textilními vložkami. Jako nejběžnější materiály pro vložky se užívá bavlny s pevností 45, 60, 90 a 120 N/mm šířky osnovy. Jejich tažnost na mezi pevnosti dosahuje až 20 %, běžná minimální tažnost pásů v podélném směru je 10 %. Pásy s bavlněnými vložkami se užívají v běžném rozsahu teplot $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, ve speciálním provedení až do $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro maximální dopravní rychlosti do $2,5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vyšší pevnosti pásů a možnost zvýšení dopravních rychlostí umožňují polyamidové vložky. Jejich pevnost dosahuje až 250 N/mm a jsou určeny pro rychlosti dopravních pásů 4 až $6,3\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Další zvýšení pevnosti je možno dosáhnout užitím vložek z perlonu (až 450 N/mm), zde je však třeba vzít v úvahu omezenou možnost použití pro venkovní instalace (do -10°C). Stále rostoucí požadavky na pevnost pásů vedou k používání pásů s vložkami z pozinkovaných ocelových lanek. Pro zajištění příčné tuhosti mají bavlněnou nebo polyamidovou textilní vložku. Vyznačují se zejména vysokou pevností, malou příčnou tuhostí (výhodné pro vytváření korýtkového profilu), vysokou podélnou tuhostí (malé protažení- výhodné pro konstrukční uspořádání napínacích stanic u dálkové dopravy), vysokou citlivostí na šikmý chod (citlivost na rozdílnost napnutí jednotlivých lanek). Životnost pásu závisí na vhodnosti jeho volby, charakteru provozu, okolních podmínkách, údržbě atd. Dopravní pásy jsou vyráběny v normalizovaných šířkách 400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400, 1800, 2000, 2200, 2400 mm.

Pro magnetický separátor předpokládám volbu hladkého pryžového dopravního pásu pro všeobecné použití s připájenými unašeči. Unašeče na pásu jsou velice důležitým prvkem, slouží proti kumulaci feromagnetického odpadu. Unašeč svým působením při pohybu pásu shrnuje ulpívající feromagnetický odpad na povrchu pásu, na který působí magnetické pole. Tento feromagnetický materiál se tak dostane za pomoci shrnovacích unašečů a díky pohybujícímu se dopravnímu pásu mimo pracovní prostor magnetu tedy mimo vliv magnetické pole a odpadá např. do přistaveného kontejneru. Unašeče se liší např. svým

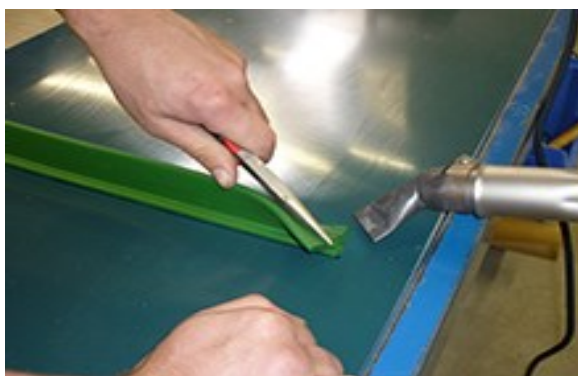
geometrickým tvarem, výškou profilu a dalšími parametry. Výběr konkrétního pásu a bližší upřesnění parametrů dopravního pásu je součástí třetí kapitoly.



Obr. 58 Příklad dopravního pásu [31]



Obr. 59 Použití hladkého dopravního pásu v provozu [18]



Obr. 60 Montáž unašeče na dopravní pás [31]



3 TECHNICKÁ ZPRÁVA

Technická zpráva obsahuje odůvodnění a volbu vhodných použitých součástí a jejich technické parametry, jejich materiály a konkrétní výrobce. Dále obsahuje vzorce, tabulky, schémata a výpočty, které vedli k návrhu stroje.

3.1 POUŽITÉ SOUČÁSTI

Magnetický separátor se jako stroj skládá převážně z již vyrobených a nakoupených dílů, jako je např. elektromotor, sestava magnetu, dopravní pás, spojovací a nosné elementy atd. Výkresová dokumentace se tímto zúží na výkresy několika součástí, výkresy jednotlivých dílců svarku, dále pak výkresu celé sestavy svarku rámu a výkresu sestavy magnetického separátoru.

3.1.1 RÁM

Pro konstrukci rámu byly dle [2] a [12] jako polotovary vybrány tyče průřezu U. V tomto případě je materiálem tyčí ocel 11 375 (S235JR), která zaručuje dobrou svařitelnost a obrobitelnost. Celková délka nakoupených tyčí U je 4 m.

Použité tyče:

DIN 1026-1 U140	U140/B ČSN 5570-11 375	2x bočnice rámu
DIN 1026-1 U100	U100/B ČSN 5570-11 375	2x spojnice rámu

Rám se kromě tyčí profilu U skládá z dalších částí, většinou z plechových profilů, které tvoří menší dílce svarku rámu. Polotovarem těchto dílců jsou tyče ploché tažené za studena z materiálu 11375 (S235JR) dle ČSN EN 10278. Jednotlivé dílce svarku jsou působením tepla při svařování elektrickým obloukem spojeny koutovými svary. Výkresy jednotlivých dílců svarku a samotného svařovaného rámu jsou součástí výkresových příloh. Největší statický zatěžující účinek působící na rám je vyvolán vlastní hmotností použité sestavy magnetů, která se pohybuje mezi 100 až 150 kg dle výrobce a dohromady tvoří v tomto případě spojitě liniové zatížení. Pro návrh konstrukce předpokládám spojitě liniové zatížení každé spojnice silou $F_{q1} = 1000 \text{ [N]}$, dohromady tedy $F_q = 2000 \text{ [N]}$. Při výpočtu zatížení rámu byla stanovena velikost maximálního ohybového momentu a následně velikost maximálního ohybového napětí. Pomocí Maxwell-Mohrovy varianty Castiglianovy věty a zavedením doplňkové síly $F_d = 0$ působící v bodě **B** byl vypočten maximální průhyb w_{BU} v tomto bodě. Výpočet byl pro zjednodušení proveden pouze pro polovinu spojnice s úvahou taktéž polovičního zatížení na jednu spojnici, které je potom $F_{q1/2} = 500 \text{ [N]}$. V případě skutečné situace, tedy vetknutí (svaření) spojnice na obou koncích lze očekávat velikost hodnoty průhybu w_{BU} 2 až 2,5 menší než je tomu v případě zjednodušené modelové situace. Pro porovnání hodnot maximálních ohybových napětí a maximálního průhybu byla taktéž provedena zjednodušená simulační analýza, která ukazuje výsledky analyzovaných hodnot, jak na polovině spojnice, tak na celé kostře svařovaného rámu a je součástí příloh.

3.1.2 HNACÍ A VRATNÝ BUBEN

Jako hnací a vratný buben magnetického separátoru byly vybrány bubny společnosti GTK s.r.o určené pro pásové dopravníky. Bubny jsou pomocí svěrných pouzder spojeny s hřídelem. Aby byla zajištěna funkce přenosu točivého momentu z hřídele na buben, musí být třecí moment, který vzniká ve stykové kuželové ploše svěrného pouzdra a protikusů



spojeného s bubnem, větší než moment kroutící. Součástí, v případě fyzické realizace projektu je podle mě nezbytná konzultace s výše uvedenou firmou pro upřesnění technických parametrů a podmínek dodání, neboť alespoň dle webových stránek, je dodávána celá sestava tzn. hnací (vratný) buben, svěrná pouzdra, hřídel bubnu a domečková ložiska. Vratný (napínací) buben s opásaným pásem podobně jako u řemenového převodu vyžaduje neustálé napínání dopravního pryžového pásu v tomto případě pomocí dvojice napínacích šroubu.

PARAMETRY BUBNŮ:

Tab. 2 Parametry bubnů

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
D_B	Průměr hnacího a vratného bubnu	215	[mm]
L_B	Délka bubnu	660	[mm]

3.1.3 MAGNET

Jak již bylo zmíněno v úvodu, magnet lze v tomto případě posuzovat pouze podle jeho rozměrových parametrů, kterým byl přizpůsoben návrh svařované rámové konstrukce. Z ekonomického hlediska tvoří nejvhodnější část stroje právě sestava permanentních magnetů, kde pořizovací cena za jeden kus se obecně pohybuje v řádech deseti tisíců Kč. Předpokládám použití permanentních magnetů ze vzácných zemin (NdFeB). Vlastní tíha magnetu působí na rám spojitým liniovým zatížením, které vytváří ohybový moment, jehož hodnotu lze vypočítat při řešení návrhu rámu stroje. Magnety jsou spojeny s rámem silentbloky [19].

PARAMETRY MAGNETŮ:

Tab. 3 Parametry magnetů

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
L_m	Délka magnetu	596	[mm]
B_m	Šířka magnetu	104	[mm]
h_m	Výška magnetu	43	[mm]
r_m	Rozteč šroubů magnetu	500	[mm]
t_m	Počet šroubů magnetu	2	[–]
i_m	Počet magnetů	6	[–]
m_m	Hmotnost jednoho magnetu	16	[kg]
m_{mcelk}	Celková hmotnost magnetů	96	[kg]



3.1.4 POHONNÉ A PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Pohonné a převodové ústrojí je tvořeno třífázovým asynchronním elektromotorem od firmy NORD, na jehož hřídeli je nasazen řemenový pastorek, který je spojen s hřídelí elektromotoru těsným perem. Velká řemenice je umístěna na hřídeli hnacího bubnu, se kterým je spojena těsným perem. Přenos točivého momentu z elektromotoru na hnací buben je realizován klínovými řemeny typu Z. Řemen umožňuje tlumit případné rázy, ale má také ochrannou funkci, když při přetížení elektromotoru dochází k jeho prokluzu a točivý moment se potom nepřenáší. Nevýhodou řemenového převodu je nutnost zajistit jeho neustálé napínání např. pomocí napínacího šroubu. Materiálem řemenic je šedá litina 42 2415 (42 2420). Elektromotor byl vybrán dle [13].

OZNAČENÍ VYBRANÉHO ELEKTROMOTORU: **NORD 100L/8-2WU**

Tab. 4 Parametry elektromotoru

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
P_{MOT}	Výkon přenášený na hnacím hřídeli elektromotoru	400	[W]
n_{MOT}	Otáčky hnací hřídele elektromotoru=otáčky malé řemenice	685	[min ⁻¹]

3.1.5 DOPRAVNÍ PÁS

Dle [17] byl vybrán pryžový dopravní pás, který se řadí do kategorie pásů pro všeobecné použití. V případě fyzické realizace magnetického separátoru je nutná konzultace s firmou Gumex ohledně montáže a konkrétních parametrů montovaných unašečů. Úhel opásání hnacího a vratného bubnu $\varphi_1 = 180^\circ$.

OZNAČENÍ VYBRANÉHO DOPRAVNÍHO PÁSU:

EP250/2 650/3+1/ AA

Tab. 5 Parametry dopravního pásu

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
t_p	Tloušťka dopravního pásu	5,8	[mm]
m_p	Hmotnost dopravního pásu	5,3	[kg * m ⁻²]
B_p	Šířka dopravního pásu	650	[mm]



3.2 VÝPOČET KONSTRUKČNÍCH UZLŮ MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU

V této podkapitole je popsán návrh výpočtu hlavních konstrukčních uzlů magnetického separátoru. První konstrukční uzel tvoří návrh svarku samotného rámu stroje, se kterým jsou přímo či nepřímo spojeny všechny součásti. Druhým uzlem je syntéza a analýza pevnostního výpočtu hřídele hnacího bubnu. Dalším podstatným konstrukčním uzlem je výpočet a řešení řemenového převodu.

3.2.1 VSTUPNÍ ZVOLENÉ PARAMETRY

Tab. 6 Vstupní parametry

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
v	Dopravní rychlost	2,5	$[m * s^{-1}]$
D_B	Průměr hnacího a vratného bubnu	215	$[mm]$
B_p	Šířka dopravního pásu	650	$[mm]$
I_V	Objemový dopravní výkon	0,0004	$[m^3 * s^{-1}]$

3.2.2 ZVOLENÉ PARAMETRY

Tab. 7 Zvolené parametry

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
F_{pm}	Možný tah v pásu na bubnu	1000	$[N]$
F_T	Možný vektorový součet tahů v pásu na bubnu	2500	$[N]$
d_B^*	Navrhovaný průměr hřídele bubnů	25	$[mm]$
η	Účinnost řemenového převodu	0,85	$[-]$
i	Navrhovaný převodový poměr	3	$[-]$
L_d	Délka magnetického separátoru	1150	$[mm]$

3.2.3 TABULKOVÉ HODNOTY

Tab. 8 Tabulkové hodnoty

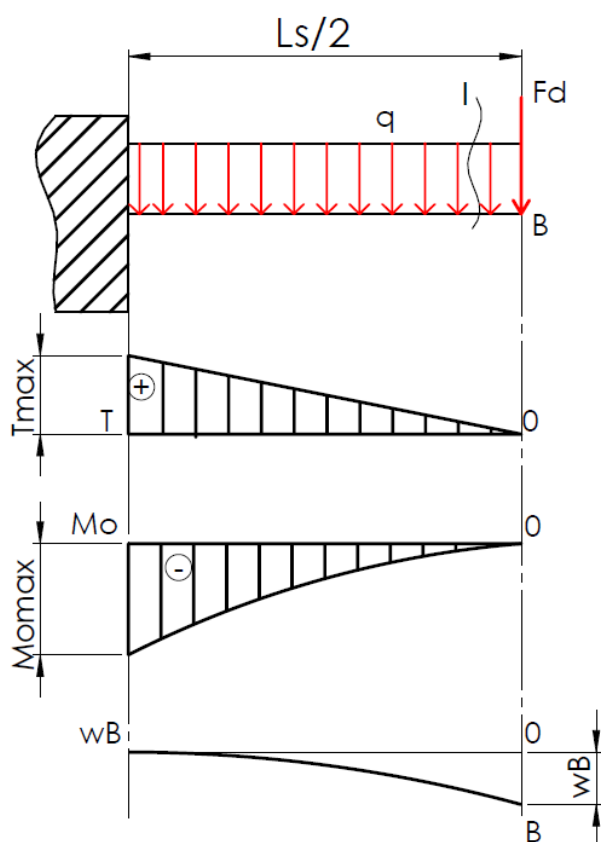
Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
g	Tíhové zrychlení	9,81	$[m * s^{-2}]$



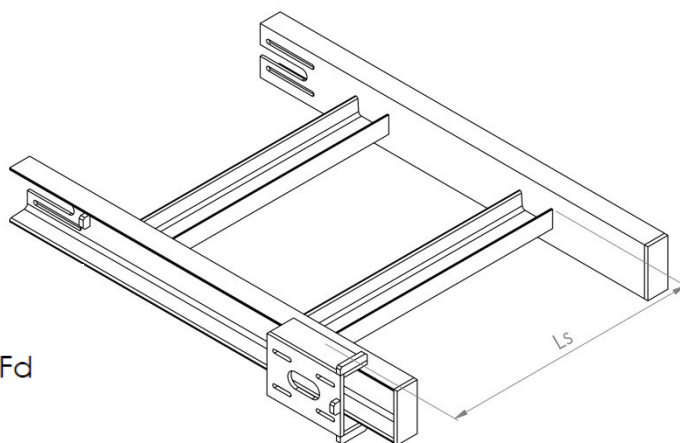
ρ_{ocel}	Objemová hmotnost oceli	7801	$[kg * m^{-3}]$
f_G	Globální součinitel tření	0,02	$[-]$
k_p	Součinitel sklonu pásu (pás je vodorovně v rovině X-Z)	1	$[-]$
E	Modul pružnosti pro ocel v tahu	$207 * 10^3$	$[MPa]$
e	Eulerovo číslo	2,718281	$[-]$

3.2.4 VÝPOČET KONSTRUKČNÍCH UZLŮ

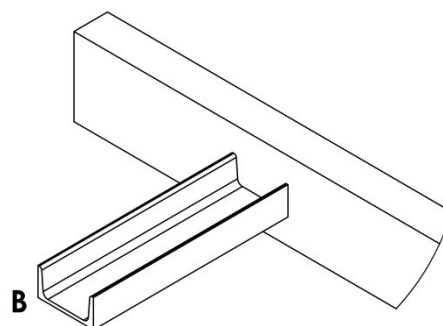
Pevnostní kontrola rámu:



Obr. 62 VVÚ od spojitého liniového zatížení



Obr. 61 Rám



Obr. 63 Polovina bočnice



3.2.4.1 SÍLA OD SPOJITÉHO LINIOVÉHO ZATÍŽENÍ NA POLOVINU DÉLKY SPOJNICE $F_{q1/2}$:

$$F_{q1/2} = L_{s/2} * q_m \quad 3.1$$

$$F_{q1/2} = 350 * 1,428 = 500 [N]$$

3.2.4.2 POSOUVAJÍCÍ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA SPOJNICI U V ŘEZU 1 T_U :

$$\sum F_{YU} = 0 = T_U - F_{q1/2} - F_d \Rightarrow T_U = \frac{F_{q1}}{2} + F_d \quad 3.2$$

$$T_U = 500 + 0 = 500 [N]$$

3.2.4.3 OHYBOVÝ MOMENT M_{oU} PŮSOBÍCÍ NA SPOJNICI U V ŘEZU 1:

$$x_U \in \langle 0; L_{s/2} \rangle$$

$$\sum M_{iU} = 0 = M_{oBU} + \left(\frac{x_U}{2} * q_m * x_U \right) + (F_d * x_U) \Rightarrow M_{o1} \quad 3.3$$

$$M_{oU} = - \left(\frac{x_U}{2} * q_m * x_U \right) - (F_d * x_U)$$

$$M_{oU} = - \left(\frac{350}{2} * 1,428 * 350 \right) - (0 * 350) = -87470 [N * mm]$$

3.2.4.4 OHYBOVÉ NAPĚTÍ V RÁMU V ŘEZU 1 σ_{oU} :

$$\sigma_{oU} = \frac{M_{oU} * \alpha_{oU}}{W_{oU}} \quad 3.4$$

$$\sigma_{oU} = \frac{87470 * 1,3}{8490} = 13,39 \text{ MPa}$$

Tab. 9 Pevnostní kontrola rámu

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
q_m	Spojité liniové zatížení od sestavy magnetů působící na polovinu délky jedné spojnice	1,428	[N/mm]
F_d	Doplňková síla	0	[N]
$F_{q1/2}$	Síla od spojitého liniového zatížení na polovinu délky spojnice	500	[N]
L_s	Délka spojnice U	700	[mm]
$L_{s/2}$	Polovina délky spojnice U	350	[mm]



J_U	Kvadratický moment v ohybu pro U 100	293000	$[mm^4]$
α_{oU}	Součinitel koncentrace napětí v ohybu	1,3	$[-]$
W_{oU}	Modul průřezu v ohybu pro U 100	8490	$[mm^3]$
T_U	Posouvající síla působící na spojnici U v řezu 1	500	$[N]$
M_{oU}	Ohybový moment působící na spojnici U v řezu 1	-87470	$[N * mm]$
σ_{oU}	Ohybové napětí v rámu v řezu 1	13,39	$[MPa]$

Použitím Maxwell-Mohrovy varianty Castiglianovy věty a následnou integrací pro tento uvažovaný případ vyplývá dle [4] a [5] :

3.2.4.5 PRŮHYB RÁMU V BODĚ B w_{BU} :

$$x_U \in \langle 0; L_{s/2} \rangle$$

$$w_{BU} = \int_0^{L_{s/2}} \frac{q_m * x_U^3}{2 * E * J_U} dx_U = \frac{q_m * L_{s/2}^4}{8 * E * J_U} \quad 3.5$$

$$w_{BU} = \frac{1,428 * 350^4}{8 * 207 * 10^3 * 293000} = 0,044 [mm]$$

Kde: w_{BU} - průhyb rámu v bodě B $[mm]$,
 E - modul pružnosti v tahu $[MPa]$.

3.2.4.6 OTÁČKY BUBNU $n_B (s^{-1})$ PRO ZADANOU DOPRAVNÍ RYCHLOST:

$$v = n_B * \pi * (D_B + 2 * t_p) \Rightarrow n_B = \frac{v}{\pi * (D_B + 2 * t_p)} \quad 3.6$$

$$n_B = \frac{2,5}{\pi * (0,215 + 2 * 0,0058)}$$

$$n_B = 3,51 [s^{-1}] = 210,71 [min^{-1}]$$

Kde: v -dopravní rychlost $[m * s^{-1}]$,
 D_B -průměr bubnu $[m]$,
 t_p -tloušťka dopravního pásu $[m]$,
 n_B -otáčky bubnu $[s^{-1}]$.

3.2.4.7 ÚHLOVÁ RYCHLOST BUBNU $\omega_B (rad * s^{-1})$:

$$\omega_B = 2 * \pi * n_B \quad 3.7$$

$$\omega_B = 2 * \pi * 3,511 = 22,1 [rad * s^{-1}]$$



Kde: ω_B -úhlová rychlost bubnu [$rad * s^{-1}$],
 n_B -otáčky bubnu [s^{-1}].

3.2.4.8 HMOTNOST JEDNOHO METRU DOPRAVNÍHO PÁSU q_p [$kg * m^{-1}$] :

$$q_p = m_p * B_p \quad 3.8$$

$$q_p = 5,3 * 0,65 = 3,445 [kg * m^{-1}]$$

Kde: q_p - hmotnost jednoho metru dopravního pásu [$kg * m^{-1}$],
 m_p -hmotnost dopravního pásu [$kg * m^{-2}$],
 B_p -šířka dopravního pásu [m].

3.2.4.9 UŽITEČNÁ ŠÍŘKA DOPRAVNÍHO PÁSU b [m] :

$$b = (0,9 * B_p) - 0,05 \quad 3.9$$

$$b = (0,9 * 0,65) - 0,05 = 0,502 [m]$$

Kde: b - užitečná šířka dopravního pásu [m],
 B_p -šířka dopravního pásu [m].

3.2.4.10 HMOTNOSTNÍ DOPRAVNÍ VÝKON I_m [$kg * s^{-1}$]

$$I_m = I_V * \rho_{ocel} \quad 3.10$$

$$I_m = 0,0004 * 7801 = 3,12 [kg * s^{-1}]$$

Kde: I_m - hmotnostní dopravní výkon [$kg * s^{-1}$],
 I_V - objemový dopravní výkon [$m^3 * s^{-1}$],
 ρ_{ocel} -objemová hmotnost oceli [$kg * m^{-3}$].

3.2.4.11 HMOTNOST DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU NA JEDEN METR PÁSU q_g [$kg * m^{-1}$] :

$$q_g = \frac{I_m}{v} \quad 3.11$$

$$q_g = \frac{3,12}{2,5} = 1,25 [kg * m^{-1}]$$

Kde: q_g - hmotnost dopravovaného materiálu na jeden metr pásu [$kg * m^{-1}$],
 I_m - hmotnostní dopravní výkon [$kg * s^{-1}$],
 v -dopravní rychlost [$m * s^{-1}$].

3.2.4.12 HLAVNÍ ODPORY F_H [N]:

$$F_H = f_G * L_d * g * (2 * q_p + q_g) \quad 3.12$$

$$F_H = 0,02 * 1,15 * 9,81 * (2 * 3,042 + 1,25) = 1,66 [N]$$

Kde: F_H - hlavní odpory [N],
 f_G -globální součinitel tření [-],



g -tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],
 L_d -délka magnetického separátoru [m],
 q_p - hmotnost jednoho metru dopravního pásu [$kg \cdot m^{-1}$],
 q_g - hmotnost dopravovaného materiálu na jeden metr pásu [$kg \cdot m^{-1}$].

3.2.4.13 ODPORY SETRVAČNÝCH SIL V MÍSTĚ NAKLÁDÁNÍ A URYCHLOVÁNÍ F_{ba} [N]:

$$F_{ba} = I_V \cdot \rho_{ocel} \cdot v \quad 3.13$$

$$F_{ba} = 0,0004 \cdot 7801 \cdot 2,5 = 7,80 \text{ [N]}$$

Kde: F_{ba} - odpory setrvačných sil v místě nakládání a urychlování [N],
 I_V - objemový dopravní výkon [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 ρ_{ocel} -objemová hmotnost oceli [$kg \cdot m^{-3}$],
 v -dopravní rychlost [$m \cdot s^{-1}$].

3.2.4.14 ODPOR OHYBU PÁSU NA BUBNECH F_l [N]:

$$F_l = 9 \cdot B_p \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{F_{pm}}{B_p} \cdot \frac{t_p}{D_B} \right) \quad 3.14$$

$$F_l = 9 \cdot 0,65 \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{1000}{0,65} \cdot \frac{0,0058}{0,215} \right) = 24,52 \text{ [N]}$$

Kde: F_l - odpor ohybu pásu na bubnech [N],
 B_p -šířka dopravního pásu [m],
 t_p -tloušťka pásu [m],
 D_B -průměr bubnu [m],
 F_{pm} -možná tahová síla v pásu [N] (zvoleno).

3.2.4.15 ODPOR V LOŽISKÁCH HNANÉHO BUBNU F_t [N] :

$$F_t = 0,005 \cdot F_T \cdot \frac{d_B^*}{D_B} \quad 3.15$$

$$F_t = 0,005 \cdot 2500 \cdot \frac{0,025}{0,215} = 1,45 \text{ [N]}$$

Kde: F_t - odpor v ložiskách hnaného bubnu [N],
 F_T -možný vektorový součet tahových sil v pásu (zvoleno) [N],
 d_B^* -navrhovaný průměr hřídele bubnů [m],
 D_B -průměr hnacího a vratného bubnu [m].

3.2.4.16 VEDLEJŠÍ ODPORY F_N [N] :

$$F_N = F_{ba} + F_l + F_t \quad 3.16$$

$$F_N = 7,8 + 24,52 + 1,45 = 33,78 \text{ [N]}$$

Kde: F_N - vedlejší odpory [N],
 F_{ba} - odpory setrvačných sil v místě nakládání a urychlování [N],



F_l - odpor ohybu pásu na bubnech $[N]$,
 F_t - odpor v ložiskách hnaného bubnu $[N]$.

3.2.4.17 OBVODOVÁ HNACÍ SÍLA DLE ISO 5048 F_U^* $[N]$:

$$F_U^* = F_H + F_N \quad 3.17$$

$$F_U^* = 1,66 + 33,78 = 35,4 \text{ [N]}$$

Kde: F_U^* - obvodová hnací síla dle ISO 5048 $[N]$,
 F_H - hlavní odpory $[N]$,
 F_N - vedlejší odpory $[N]$.

3.2.4.18 PRACOVNÍ PŘEDPĚTÍ F_U^{**} $[N]$:

Součinitel rozběhu ξ dle [10] nabývá hodnot z intervalu $\xi \in (1,5 \div 2)$. Jeho hodnota dle [10] byla zvolena: $\xi = 1,5 [-]$

$$F_U^{**} = F_U^* \cdot \xi \quad 3.18$$

$$F_U^{**} = 35,4 \cdot 1,5 = 53,1 \text{ [N]}$$

Kde: F_U^* - obvodová hnací síla dle ISO 5048 $[N]$,
 ξ - součinitel rozběhu $[-]$.

3.2.4.19 POŽADOVANÝ VÝKON POHONU MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU P $[W]$:

$$P = F_U^{**} \cdot v \quad 3.19$$

$$P = 53,1 \cdot 2,5 = 132,8 \text{ [W]}$$

Kde: P - požadovaný výkon pohonu magnetického separátoru $[W]$,
 F_U^{**} - pracovní předpětí $[N]$,
 v -dopravní rychlost $[m \cdot s^{-1}]$.

3.2.4.20 PŘÍKON POHONU MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU P^* $[W]$:

$$P^* = \frac{P}{\eta} \quad 3.20$$

$$P^* = \frac{132,8}{0,85} = 156,2 \text{ [W]}$$

Kde: P^* - příkon pohonu magnetického separátoru $[W]$,
 P - požadovaný výkon pohonu magnetického separátoru $[W]$,
 η -účinnost řemenového převodu $[-]$.

Pro vypočtený příkon byl dle [13] vybrán elektromotor s přibližně 2,5 krát vyšším výkonem $P_{MOT} = 400 \text{ [W]}$ = výkon vybraného elektromotoru



3.2.4.21 KROUTÍCÍ MOMENT PŮSOBÍCÍ NA BUBEN Mk_B [$N \cdot m$]:

$$Mk_B = \frac{P_{MOT}}{\omega_B} \quad 3.21$$

$$Mk_B = \frac{400}{22,1} = 18,1 [N \cdot m]$$

Kde: Mk_B - kroucí moment působící na buben [$N \cdot m$],
 P_{MOT} - výkon přenášený na hnacím hřídeli elektromotoru [W],
 ω_B -úhlová rychlost bubnu [$rad \cdot s^{-1}$].

3.2.4.22 NAVRHOVANÉ PŘEVODOVÉ ČÍSLO i [-]:

$$i = \frac{n_{MOT}^*}{n_B} \Rightarrow n_{MOT}^* = i \cdot n_B \quad 3.22$$

$$n_{MOT}^* = 3 \cdot 3,51 = 10,53 [s^{-1}] = 632,8 [\min^{-1}]$$

Kde: i - navrhované převodové číslo (zvoleno $i=3$) [-],
 n_{MOT}^* -přibližné otáčky motoru [s^{-1}],
 n_B -otáčky bubnu [s^{-1}].

3.2.4.23 SKUTEČNÉ PŘEVODOVÉ ČÍSLO i_{skut} [-]:

Hodnota n_{MOT}^* zaokrouhlena dle nejbližší hodnoty n_{MOT} z katalogu [13]. Z toho vyplývá hodnota $n_{MOT} = 685 [\min^{-1}] = 11,166 [s^{-1}]$

$$i_{skut} = \frac{n_{MOT}}{n_B} \quad 3.23$$

$$i_{skut} = \frac{685}{210,7} = 3,179 [-]$$

Kde: i_{skut} - skutečné převodové číslo [-],
 n_{MOT} -otáčky hřídele elektromotoru [\min^{-1}]= otáčky malé řemenice [\min^{-1}],
 n_B -otáčky bubnu [\min^{-1}].

3.2.4.24 VÝPOČTOVÝ PRŮMĚR VELKÉ ŘEMENICE D_p [m]:

$$D_p = d_p \cdot i_{skut} \quad 3.24$$

$$D_p = 0,063 \cdot 3,179 = 0,20 [m] \Rightarrow \text{dle [2] byl zvolen průměr velké řemenice}$$

$$D_p = 0,20 [m]$$

Kde: D_p - výpočtový průměr velké řemenice [m],
 d_p - zvolený průměr malé řemenice [m],
 i_{skut} - skutečné převodové číslo [-].


3.2.4.25 PŘEDBĚŽNĚ ZVOLENÁ OSOVÁ VZDÁLENOST ŘEMENOVÉHO PŘEVODU A^* [m]:

$$0,7 * (D_p + d_p) < A^* < 2 * (D_p + d_p) \quad 3.25$$

$$0,7 * (0,20 + 0,063) < A^* < 2 * (0,20 + 0,063)$$

$$0,184[m] < A^* < 0,52 [m]$$

$$A^* = 0,285 [m] \text{ zvoleno}$$

Kde: A^* - předběžně zvolená osová vzdálenost řemenového převodu [m],
 D_p - výpočtový průměr velké řemenice [m],
 d_p - zvolený průměr malé řemenice [m].

3.2.4.26 ÚHEL OPÁSÁNÍ MALÉ ŘEMENICE α_1 [°]:

$$\cos \frac{\alpha_1}{2} = \frac{D_p - d_p}{2 * A^*} = \frac{0,20 - 0,063}{2 * 0,285} \Rightarrow \alpha_1 = 152^\circ 12' \Rightarrow \approx 150^\circ \quad 3.26$$

Kde: α_1 - úhel opásání malé řemenice [°],
 A^* - předběžně zvolená osová vzdálenost řemenového převodu [m],
 D_p - výpočtový průměr velké řemenice [m],
 d_p - zvolený průměr malé řemenice [m].

3.2.4.27 ÚHEL OPÁSÁNÍ ŘEMENOVÉHO PŘEVODU γ [°]:

$$\gamma = \frac{180^\circ - \alpha_1}{2} \quad 3.27$$

$$\gamma = \frac{180^\circ - 152^\circ 12'}{2} = 13^\circ 54' \Rightarrow \approx 14^\circ$$

Kde: γ - úhel opásání řemenového převodu [°],
 α_1 - úhel opásání malé řemenice [°].

3.2.4.28 VÝPOČTOVÁ DÉLKA ŘEMENU L_p^* [°]:

$$L_p^* = 2 * A^* * \sin \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\pi}{2} * (D_p + d_p) + \frac{\pi * \gamma^\circ}{180^\circ} * (D_p - d_p) \quad 3.28$$

$$L_p^* = 2 * 0,285 * \sin \frac{152,12}{2} + \frac{\pi}{2} * (0,20 + 0,063) + \frac{\pi * 13,54^\circ}{180^\circ} * (0,20 - 0,063)$$

$$L_p^* = 0,9995 \approx 1,0[m]$$

Dle [2] byla zvolena délka řemenu $L_p = 1,0 [m]$

Kde: L_p^* - výpočtová délka řemenu [m],
 L_p - zvolená délka řemenu [m],
 γ - úhel opásání řemenového převodu [°],
 α - úhel opásání malé řemenice [°],
 A^* - předběžně zvolená osová vzdálenost řemenového převodu [m],
 D_p - výpočtový průměr velké řemenice [m],



d_p - zvolený průměr malé řemenice [m].

3.2.4.29 KOEFICIENT ŘEMENOVÉHO PŘEVODU p [-]:

$$p = 0,25 * L_p - 0,125 * \pi * (D_p + d_p) \quad 3.29$$

$$p = 0,25 * 1 - 0,125 * \pi * (0,20 + 0,063) = 0,1467 [m]$$

3.2.4.30 KOEFICIENT ŘEMENOVÉHO PŘEVODU q [-]:

$$q = 0,125 * (D_p - d_p)^2 \quad 3.30$$

$$q = 0,125 * (0,20 - 0,063)^2 = 0,00234 [m]$$

3.2.4.31 SKUTEČNÁ OSOVÁ VZDÁLENOST ŘEMENIC A [m]:

$$A = p + \sqrt{p^2 - q} \quad 3.31$$

$$A = 0,1711 + \sqrt{0,1217^2 - 0,00234} = 0,2852 \div 0,285 [m]$$

Kde: A - skutečná osová vzdálenost řemenic [m],
 p -koeficient řemenového převodu [m],
 q -koeficient řemenového převodu [m],
 D_p - výpočtový průměr velké řemenice [m],
 d_p - zvolený průměr malé řemenice [m].

3.2.4.32 VÝKON PŘENÁŠENÝ JEDNÍM ŘEMENEM V PODMÍNKÁCH PROVOZU P_{prov} [W]:

Jmenovitý výkon převodu P_0 s jedním řemenem typu Z byl vybrán z [2] dle průměru malé řemenice.

Součinitel dynamičnosti zařízení a pracovního režimu C_p byl vybrán z [2] dle použitého pracovního režimu, který lze označit jako lehký. A dále dle počtu pracovních směn řemenů, které volím hodnoty tři. Z toho vyplývá hodnota $C_p = 1,4$ [-]

Součinitel úhlu opásání C_α byl vybrán z [2] dle úhlu opásání řemene. Z toho vyplývá hodnota $C_\alpha = 0,92$ [-]

Součinitel vlivu délky řemenu C_L byl vybrán z [2] dle zvolené délky řemenu. Z toho vyplývá hodnota $C_L = 1,06$ [-]

$$P_{prov} = \frac{(P_0 * C_\alpha * C_L)}{C_p} \quad 3.32$$

$$P_{prov} = \frac{(300 * 0,92 * 1,06)}{1,4} = 208,9 [W]$$

Kde: P_{prov} - výkon (provozní) přenášený jedním řemenem v podmínkách provozu [W],
 P_0 -jmenovitý výkon převodu s jedním řemenem typu Z [W],



C_p -součinitel dynamičnosti zařízení a pracovního režimu [–],

C_L -součinitel vlivu délky řemene [–],

C_α -součinitel úhlu opásání [–].

3.2.4.33 POČET ŘEMENŮ K [–]:

Součinitel počtu řemenů v převodu C_K byl vybrán s předpokladem použití dvou řemenu typu Z. Z toho vyplývá hodnota $C_K = 0,95$ [–] dle [2]. Řemen byl vybrán dle [2].

$$K = \frac{P_{MOT}}{P_{prov} * C_K} \quad 3.33$$

$$K = \frac{400}{208,9 * 0,95} = 1,9141 \Rightarrow 2 \text{ [–]}$$

Kde: K - počet řemenů [–],

P_{MOT} - výkon přenášený na hnacím hřídeli elektromotoru [W],

P_{prov} - výkon (provozní) přenášený jedním řemenem v podmínkách provozu [W],

C_K -součinitel počtu řemenů v převodu [–].

3.2.4.34 OBVODOVÁ RYCHLOST MALÉ ŘEMENICE v_{rem} [$m * s^{-1}$]:

$$v_{rem} = \pi * d_p * n_{MOT} \quad 3.34$$

$$v_{rem} = \pi * 0,063 * 11,167 = 2,21 \text{ [} m * s^{-1} \text{]}$$

Kde: v_{rem} - obvodová rychlost malé řemenice [$m * s^{-1}$],

d_p - zvolený průměr malé řemenice [m],

n_{MOT} -otáčky hřídele elektromotoru [s^{-1}]= otáčky malé řemenice [s^{-1}].

3.2.4.35 OBVODOVÁ SÍLA F [N]:

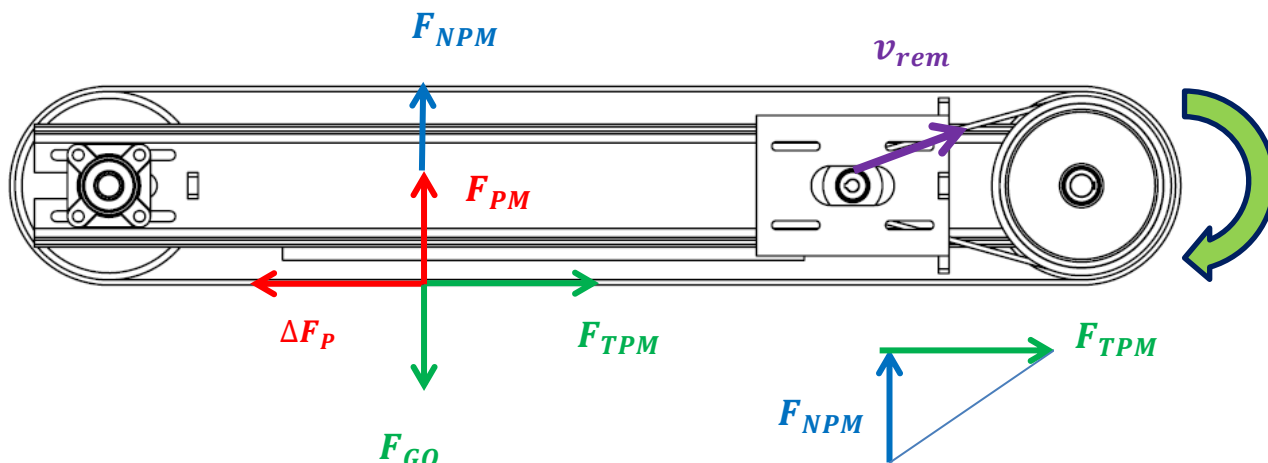
$$F = \frac{P_{MOT}}{v_{rem}} \quad 3.35$$

$$F = \frac{400}{2,21} = 180,9 \text{ [N]}$$

Kde: F - obvodová síla [N],

P_{MOT} - výkon přenášený na hnacím hřídeli elektromotoru [W],

v_{rem} - obvodová rychlost malé řemenice [$m * s^{-1}$].



Obr. 64 Působení vybraných sil a rychlostí

3.2.4.36 TAHOVÁ SÍLA V PÁSU PO PŘEKONÁNÍ ODPORŮ ΔF_P :

$$\Delta F_P = F - F_U^{**} \quad 3.36$$

$$\Delta F_P = 180,9 - 53,1 = 127,8 \text{ [N]}$$

Kde: F - obvodová síla [N],
 ΔF_P -tahová síla v pásu po překonání odporů [N],
 F_U^{**} - pracovní předpětí [N].

3.2.4.37 TŘECÍ SÍLA MEZI PÁSEM A MAGNETEM F_{TPM} :

$$F_{TPM} = \Delta F_P \quad 3.37$$

$$F_{TPM} = 127,8 \text{ [N]}$$

Kde: F_{TPM} - třecí síla mezi pásem a magnetem [N],
 ΔF_P -tahová síla v pásu po překonání odporů [N].

3.2.4.38 TÍHOVÁ SÍLA OD FEROMAGNETICKÉHO ODPADU F_{GO} :

$$F_{GO} = \frac{L_m * I_m * g}{v_{rem}} \quad 3.38$$

$$F_{GO} = \frac{0,596 * 3,12 * 9,81}{2,21} = 8,25 \text{ [N]}$$

Kde: F_{GO} - tíhová síla od feromagnetického odpadu [N],
 I_m - hmotnostní dopravní výkon [$kg * s^{-1}$],
 L_m -délka magnetu [m],
 g -tíhové zrychlení [$m * s^{-2}$],
 v_{rem} - obvodová rychlost malé řemenice [$m * s^{-1}$].

**3.2.4.39 NORMÁLOVÁ SÍLA MAGNETU F_{NPM} :**

$$F_{NPM} = \frac{\Delta F_p}{f_p} = (F_{PM} - F_{GO}) \quad 3.39$$

$$F_{NPM} = \frac{127,8}{0,2} = 639 \text{ [N]}$$

Kde: F_{NPM} -normálová síla magnetu [N],
 F_{GO} - tíhová síla od feromagnetického odpadu [N],
 ΔF_p -tahová síla v pásu po překonání odporů [N],
 f_p - součinitel tření mezi magnetem a pásem [-].

3.2.4.40 HMOTNOST, KTEROU JE MAGNET SCHOPEN UDRŽET m_{PM} :

$$m_{PM} = \frac{F_{NPM}}{g} \quad 3.40$$

$$m_{PM} = \frac{F_{NPM}}{g} = \frac{639}{9,81} = 65,1 \text{ [kg]}$$

Kde: F_{NPM} -normálová síla magnetu [N],
 g -tíhové zrychlení [$m * s^{-2}$].

3.2.4.41 PŘÍTLAČNÁ SÍLA MAGNETU F_{PM} [N]:

$$F_{NPM} = (F_{PM} - F_{GO}) \Rightarrow F_{PM} = F_{NPM} + F_{GO} \quad 3.41$$

$$F_{PM} = 639 + 8,25 = 647,25 \text{ [N]}$$

Kde: F_{PM} -přítlačná síla magnetu [N],
 F_{NPM} -normálová síla magnetu [N],
 F_{GO} - tíhová síla od feromagnetického odpadu [N].

3.2.4.42 PRACOVNÍ PŘEDPĚTÍ ŘEMENE F_U [N]:

Pracovní předpětí řemene je síla, která působí na hřídel a ložiska. Vztah pro pracovní předpětí dle [2]

$$F_U \approx 1,5 * F \quad 3.42$$

$$F_U = 1,5 * 180,9 = 271,8 \text{ [N]}$$

Kde: F_U - pracovní předpětí řemene [N],
 F - obvodová síla [N].



3.2.4.43 NEJVĚTŠÍ TAHOVÁ SÍLA V TAŽNÉ VĚTVI ŘEMENU $F_{1ř}$ [N]:

Tab. 10 Parametry řemenového převodu

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
$F_{1ř}$	Největší tahová síla v tažné větvi řemenu	456,2	[N]
F_U	Pracovní předpětí řemene	271,8	[N]
e	Eulerovo číslo	2,718281	[–]
μ_1	Součinitel tření mezi řemenicí a řemenem	0,35	[–]
α_1	Úhel opásání malé řemenice	2,5831	[rad]
$F_{2řmin}$	Nejmenší tahová síla v tažené větvi řemenu	184,7	[N]

$$F_{MAX} \approx F_{1ř} \approx F_U * \left(\frac{1}{e^{\mu_1 * \alpha_1} - 1} + 1 \right) \quad 3.43$$

$$F_{MAX} \approx F_{1ř} \approx 271,8 * \left(\frac{1}{e^{0,35 * 2,5831} - 1} + 1 \right) \approx 456,2 [N]$$

3.2.4.44 NEJMENŠÍ TAHOVÁ SÍLA VE SBÍHAJÍCÍ VĚTVI ŘEMENU $F_{2řmin}$ [N]:

$$F_{2řmin} \geq F_U * \left(\frac{1}{e^{\mu_1 * \alpha_1} - 1} + 1 \right) = 271,8 * \left(\frac{1}{e^{0,35 * 2,5831} - 1} + 1 \right) \quad 3.44$$

$$F_{2řmin} \geq 271,8 * \left(\frac{1}{e^{0,35 * 2,5831} - 1} + 1 \right)$$

$$F_{2řmin} = 184,72 [N]$$

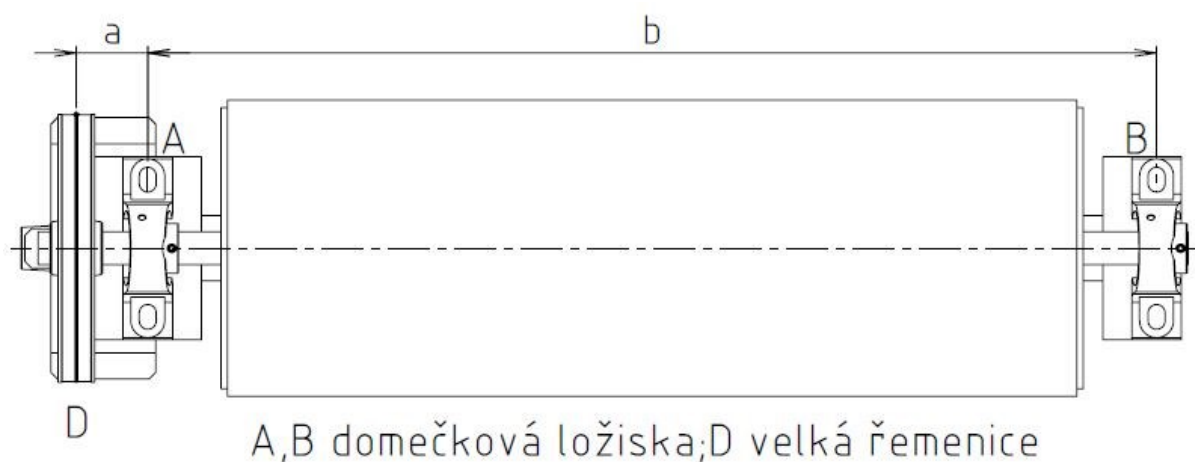
3.2.4.45 KONTROLA TAHŮ V ŘEMENU:

Obvodová hnací síla se rovná rozdílu tahů v řemenu:

$$F_{Ukont} = F_{1ř} - F_{2řmin} \quad 3.45$$

$$F_{Ukont} = 456,2 - 184,72 = 271,8 [N]$$

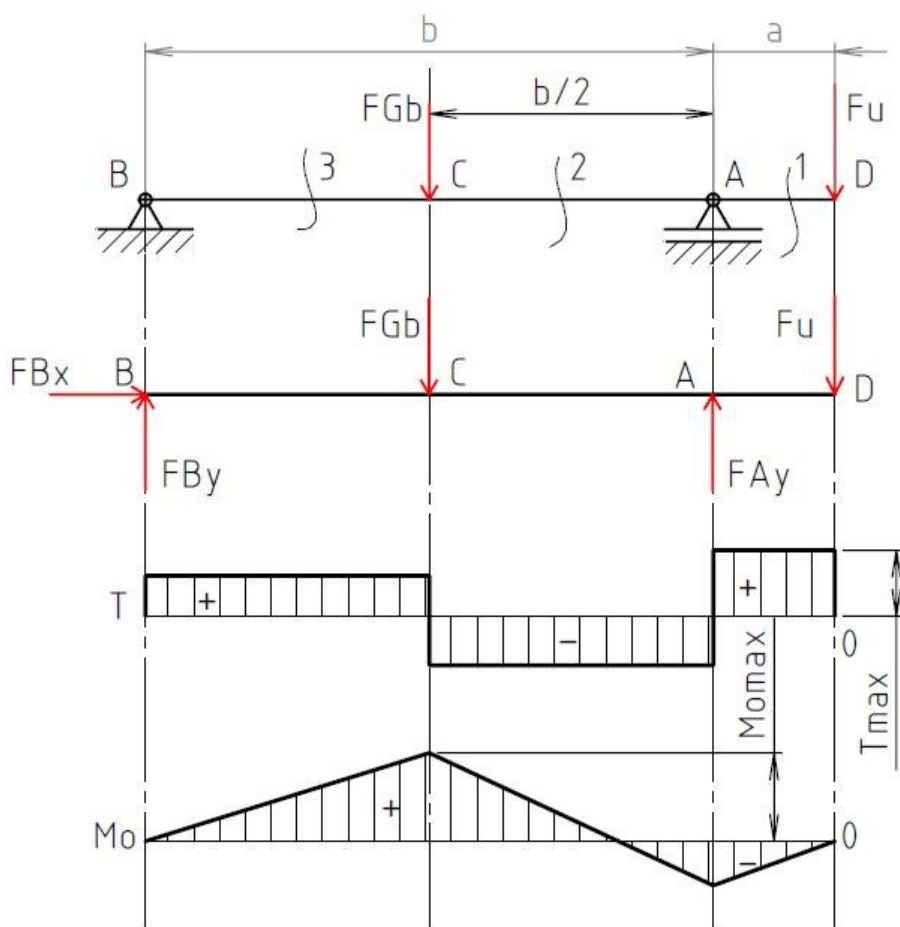
Pevnostní kontrola hřídele hnacího bubnu:



Obr. 65 Schéma hnacího bubnu

Tab. 11 Seznam sil zatěžujících hřídel

Symbol	Veličina	Jednotka
F_{Bx}	Axiální síla v ložisku B	[N]
F_{By}	Radiální síla v ložisku B	[N]
F_{Ay}	Radiální síla působící v ložisku A	[N]
F_{Gb}	Síla od vlastní hmotnosti bubnu	[N]
F_U	Síla od řemenového převodu působící na hřídel a ložiska	[N]
F_{Gb}	Síla od vlastní hmotnosti bubnu	[N]
a	Vzdálenost mezi osou ložiska A a řemenicí D	[mm]
b	Vzdálenost mezi osou ložiska B a A	[mm]



Obr. 66 VVÚ hřídele hnacího bubnu

Reakce v ložiskách:

3.2.4.46 SUMA SIL V OSE X:

$$\sum F_X = 0 = F_{Bx} \quad 3.46$$

3.2.4.47 SUMA SIL V OSE Y:

$$\sum F_Y = 0 = F_{By} - F_{Gb} - F_U + F_{Ay} \Rightarrow F_{By} = F_{Gb} - F_{Ay} + F_U \quad 3.47$$

$$F_{By} = 294,2 - 439,9 + 271,8 = 126,1 \text{ [N]}$$

3.2.4.48 SUMA MOMENTŮ K BODU B:

$$\sum M_B = 0 = (F_{Ay} * b) - F_U * (a + b) - F_{Gb} * \frac{b}{2} \Rightarrow F_{Ay} = \frac{F_{Gb} * \frac{b}{2} + F_U * (a + b)}{b} \quad 3.48$$



$$F_{Ay} = \frac{294,2 * 0,3875 + 271,8 * (0,06 + 0,775)}{0,775} = 439,9 [N]$$

VVÚ hřídele hnacího bubnu:

VVÚ v jednotlivých řezech byly vždy číselně vyjádřeny pouze pro nenulovou hodnotu z intervalů, kterým náleží $x_{1,2,3}$, tedy vždy pro a nebo $b/2$

3.2.4.49 POSOUVAJÍCÍ SÍLA V ŘEZU 1 T_1 [N]:

$$\sum F_{Y1} = 0 = T_1 - F_U \Rightarrow T_1 = F_U \quad 3. 49$$

$$T_1 = F_U = 271,8 [N]$$

3.2.4.50 OHYBOVÝ MOMENT V ŘEZU 1 Mo_1 [N * m]:

$$x_1 \in \langle 0; a \rangle$$

$$\sum M_{i1} = 0 = Mo_1 + F_U * x_1 \Rightarrow Mo_1 = -F_U * x_1 \quad 3. 50$$

$$Mo_1 = -271,8 * 0,06 = -16,3 [N * m]$$

3.2.4.51 POSOUVAJÍCÍ SÍLA V ŘEZU 2 T_2 [N]:

$$\sum F_{Y2} = 0 = T_2 + F_{Ay} - F_U \Rightarrow T_2 = F_U - F_{Ay} \quad 3. 51$$

$$T_2 = 271,8 - 439,9 = -168,1 [N]$$

3.2.4.52 OHYBOVÝ MOMENT V ŘEZU 2 Mo_2 [N * m]:

$$x_2 \in \langle 0; \frac{b}{2} \rangle$$

$$\sum M_{i2} = 0 = Mo_2 - F_{Ay} * \frac{b}{2} + F_U * \left(a + \frac{b}{2}\right) \Rightarrow Mo_2 = F_{Ay} * x_2 - F_U * (a + x_2) \quad 3. 52$$

$$Mo_2 = 439,9 * \frac{0,775}{2} - 271,8 * \left(0,06 + \frac{0,775}{2}\right) = 48,8 [N * m]$$

3.2.4.53 POSOUVAJÍCÍ SÍLA V ŘEZU 3 T_3 [N]:

$$\sum F_{Y3} = 0 = T_3 + F_{Ay} - F_U - F_{Gb} \Rightarrow T_3 = F_{Gb} + F_U - F_{Ay} \quad 3. 53$$

$$T_3 = 294,2 + 271,8 - 439,9 = 126,1 [N]$$



3.2.4.54 OHYBOVÝ MOMENT V ŘEZU 3 M_{o3} [$N \cdot m$]:

$$x_3 \in \langle 0; \frac{b}{2} \rangle$$

$$\sum M_{i3} = 0 = M_{o3} + F_{Gb} * x_3 - F_{Ay} * \left(\frac{b}{2} + x_3\right) + F_U * \left(a + \frac{b}{2} + x_3\right) \Rightarrow M_{o3}$$

$$M_{o3} = F_{Ay} * \frac{b}{2} - F_U * \left(a + \frac{b}{2} + x_3\right) - F_{Gb} * x_3$$
3. 54

$$M_{o3} = 439,9 * \frac{0,775}{2} - 271,8 * \left(0,06 + \frac{0,775}{2} + \frac{0,775}{2}\right) - 294,2 * \frac{0,775}{2} = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

3.2.4.55 VÝPOČTOVÝ MINIMÁLNÍ PRŮMĚR HŘÍDELE DLE HMH d_{min}^* [m]:

Odvození vztahu pro výpočet minimálního průměru d_{min}^* hnací hřídele dle měrné energie napjatosti HMH. Rovnice byla odvozena s úvahou hodnoty návrhového součinitele

$k_n = 2$ [–]. Materiálem hřídele je ocel 11600 (E335) s hodnotou meze kluzu v tahu $R_{e1} = 325$ [MPa]

$$\frac{R_e}{k_n} = \sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 * \tau_K^2} = \sqrt{\left(\frac{M_o * \alpha_\sigma}{W_o}\right)^2 + 3 * \left(\frac{M_k * \alpha_\tau}{W_k}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{32 * M_{o2} * \alpha_{\sigma 1}}{\pi * d_{min}^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * M_{kB} * \alpha_{\tau 1}}{\pi * d_{min}^3}\right)^2} \Rightarrow$$
3. 55

$$\Rightarrow d_{min}^* = \sqrt[6]{\frac{k_n^2 * (1024 * M_{o2}^2 * \alpha_{\sigma 1}^2 + 768 * M_{kB}^2 * \alpha_{\tau 1}^2)}{\pi^2 * R_{e1}^2}}$$

$$d_{min}^* = \sqrt[6]{\frac{2^2 * (1024 * 48,8^2 * 1,6^2 + 768 * 18^2 * 3^2)}{\pi^2 * (325 * 10^6)^2}}$$

$$d_{min}^* = 0,017885 \text{ [m]} \approx 18 \text{ [mm]}$$

S ohledem na řadu dodávaných domečkových ložisek firmy SKF je nutné z konstrukčního důvodu zvolit minimální průměr hřídele hnací bubnu $d_{min} = 25$ [mm]. Materiálem hřídele je ocel 11600, která byla zvolena dle [1].

3.2.4.56 KVADRATICKÝ MOMENT PRŮŘEZU V ŘEZU 1:

$$J_{y1} = J_{z1} = \frac{\pi * d_{min}^4}{64}$$
3. 56

$$J_{y1} = J_{z1} = \frac{\pi * 25^4}{64} = 19\,175 \text{ [mm}^4\text{]}$$



3.2.4.57 MODUL PRŮŘEZU V OHYBU V ŘEZU 1 :

$$W_{o1} = \frac{\pi * d_{min}^3}{32} \quad 3. 57$$

$$W_{o1} = \frac{\pi * 25^3}{32} = 1534 [mm^3]$$

3.2.4.58 SOUČINITEL KONCENTRACE NAPĚTÍ $\alpha_{\sigma1} [-]$ V OHYBU A KRUTU $\alpha_{\tau1}$ V ŘEZU 1:

Dle předpokládané geometrie hřídele byly dle [1] a [4] určeny součinitele koncentrace napětí v ohybu a v krutu pro řez 1.

$$\alpha_{\sigma1} = 1,6 [-] \wedge \alpha_{\tau1} = 3 [-] \quad 3. 58$$

3.2.4.59 OHYBOVÉ NAPĚTÍ V ŘEZU 1:

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_{o1}} * \alpha_{\sigma1} = \frac{32 * M_{o1}}{\pi * d_{min}^3} * \alpha_{\sigma1} \quad 3. 59$$

$$\sigma_{o1} = \frac{32 * 16289}{\pi * 25^3} * 1,6 = 17,01 [MPa]$$

3.2.4.60 POLÁRNÍ KVADRATICKÝ MOMENT V ŘEZU 1:

$$J_{p1} = \frac{\pi * d_{min}^4}{32} \quad 3. 60$$

$$J_{p1} = \frac{\pi * 25^4}{32} = 38349,5 [mm^4]$$

3.2.4.61 MODUL PRŮŘEZU V KRUTU V ŘEZU 1:

$$W_{k1} = \frac{\pi * d_{min}^3}{16} \quad 3. 61$$

$$W_{k1} = \frac{\pi * 25^3}{16} = 3067,9 [mm^3]$$

3.2.4.62 NAPĚTÍ OD KRUTU V ŘEZU 1:

$$\tau_{k1} = \frac{M_{kB}}{W_{k1}} * \alpha_{\tau1} = \frac{16 * M_{kB}}{\pi * d_{min}^3} * \alpha_{\tau1} \quad 3. 62$$

$$\tau_{k1} = \frac{16 * 18000}{\pi * 25^3} * 3 = 17,06 [MPa]$$



3.2.4.63 REDUKOVANÉ NAPĚTÍ DLE HMH σ_{RED1} [MPa]:

$$\sigma_{RED1} = \sqrt{\sigma_{o1}^2 + 3 * \tau_{k1}^2}$$

3. 63

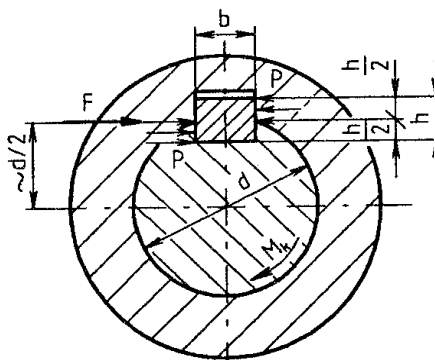
$$\sigma_{RED1} = \sqrt{17,01^2 + 3 * 17,06^2} = 34,9 \text{ [MPa]}$$

Tab. 12 Kontrola hřídele

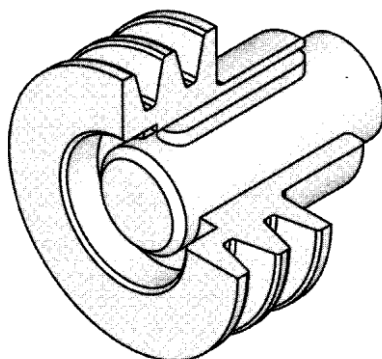
Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
d_{min}^*	Vypočtený min. průměr hřídele dle HMH	18	[mm]
d_{min}	Zvolený minimální průměr hřídele dle HMH	25	[mm]
d_C	Navrhovaný průměr hřídele v bodě C	40	[mm]
R_{e1}	Mez kluzu pro ocel 11600	325	[MPa]
k_n	Návrhový součinitel	2	[-]
σ_{RED1}	Redukované napětí dle HMH	34,9	[MPa]
$J_{y1} = J_{z1}$	Kvadratický moment průřezu pro ohyb v řezu 1	19375	[mm ⁴]
J_{p1}	Polární kvadratický moment v řezu 1	38349,5	[mm ⁴]
M_{o1}	Ohybový moment v řezu 1	16289	[N * mm]
M_{o2}	Ohybový moment v řezu 2	48800	[N * mm]
M_{o3}	Ohybový moment v řezu 3	0	[N * mm]
W_{o1}	Průřezový modul v ohybu v řezu 1	1534	[mm ³]
$\alpha_{\sigma 1}$	Součinitel koncentrace napětí pro ohyb v řezu 1	1,6	[-]
σ_{o1}	Ohybové napětí v řezu 1	17,01	[MPa]
M_{kB}	Krouticí moment působící na buben	18000	[N * mm]
W_{k1}	Průřezový modul v krutu v řezu 1	3067,9	[mm ³]
$\alpha_{\tau 1}$	Součinitel koncentrace napětí pro krut v řezu 1	3	[-]
τ_{k1}	Napětí od krutu v řezu 1	17,06	[MPa]

NÁVRH A KONTROLA PERA NA OTLAČENÍ:

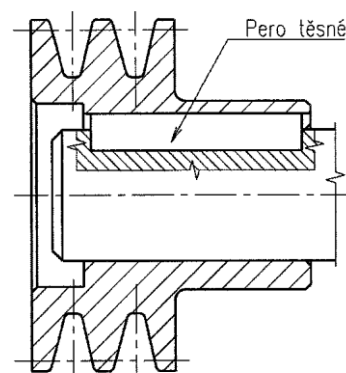
Návrh a kontrola pera na otláčení byly provedeny dle [1]. Obr. 68 a Obr. 69 mají pouze ilustrativní charakter.



Obr. 67 Namáhání pera [6]



Obr. 68 Uložení malé řemenice na hřídeli [8]



Obr. 69 Řez malé řemenice [8]

3.2.4.64 ZÁKLADNÍ HODNOTA TLAKU p_0 PRO NÁBOJ:

Pro vybraný materiál řemenic dle [1] platí:

$$p_0 = 90 \text{ MPa}$$

3. 64

3.2.4.65 DOVOLENÝ TLAK NA BOCÍCH DRÁŽEK V NÁBOJI p_D :

Dle [1] pro jednosměrné zatížení s malými rázy platí vztah:

$$p_D = 0,7 * p_0$$

3. 65

$$p_D = 0,7 * 90 = 63 \text{ MPa}$$

Kde: p_0 - základní hodnota tlaku pro náboj [MPa],
 p_D -dovolený tlak na bocích drážek v náboji [MPa].

3.2.4.66 OBVODOVÁ SÍLA NA POVRCHU HŘÍDELE F_{Mk} :

$$F_{Mk} = \frac{2 * M_{kB}}{d_{min}}$$

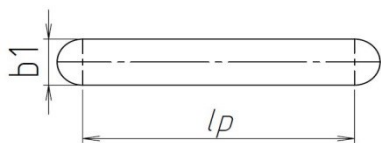
3. 66

$$F_{Mk} = \frac{2 * 18000}{25} = 1450,2 \text{ [N]}$$

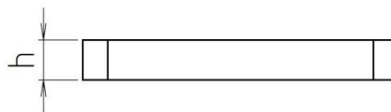
Kde: F_{Mk} -obvodová síla od kroutícího momentu působící na pero [N],
 p_D -dovolený tlak na bocích drážek v náboji [MPa],
 d_{min} -zvolený minimální průměr hřídele dle HMH [mm].



3.2.4.67 VÝPOČTOVÁ DÉLKA DRÁŽKY PRO PERO l_p^* :



Obr. 70 Pero těsné



Obr. 71 Pero těsné

$$p_D \geq \frac{F_{Mk}}{t_1 * (l_p^* - b_1)} \Rightarrow l_p^* = \frac{(p_D * t_1 * b_1) + F_{Mk}}{t_1 * p_D} \quad 3. 67$$

$$l_p^* = \frac{(63 * 2,9 * 8) + 1450,2}{2,9 * 63} = 15,9 [mm] \Rightarrow \text{dle [1] volím } l_p = 36 [mm]$$

Kde: l_p^* -výpočtová délka drážky pro pero [mm],
 l_p - zvolená délka drážky pro pero [mm],
 p_D -dovolený tlak na bocích drážek v náboji [MPa],
 t_1 -hloubka drážky pro pero v náboji [mm],
 b_1 - šířka drážky pro pero [mm],
 F_{Mk} -obvodová síla od kroutícího momentu působící na pero [N].

3.2.4.68 DOVOLENÝ PRŮHYB STŘEDNICE HŘÍDELE δ_D [mm]:

Dovolený průhyb hřídele určen dle str. 1062 [1]. Příkladem užití jsou hřídele ve všeobecném strojírenství, kde dovolený průhyb hřídele δ_D [mm] se rovná:

$$\delta_D = \frac{l}{3000} \Rightarrow \frac{b}{3000} \quad 3. 68$$

$$\delta_D = \frac{775}{3000} = 0,258 [mm]$$

Kde: l - vzdálenost mezi ložisky obecně [mm],
 δ_D - dovolený průhyb střednice hřídele [mm].

3.2.4.69 DOVOLENÉ NATOČENÍ STŘEDNICE HŘÍDELE V LOŽISKÁCH φ_D [rad]:

Dovolený průhyb hřídele určen dle [1]. Tyto hodnoty dovolený průhyb hřídele platí pro kuličková ložiska.

$$\varphi_D = (0,026 \div 0,052) [rad] \quad 3. 69$$

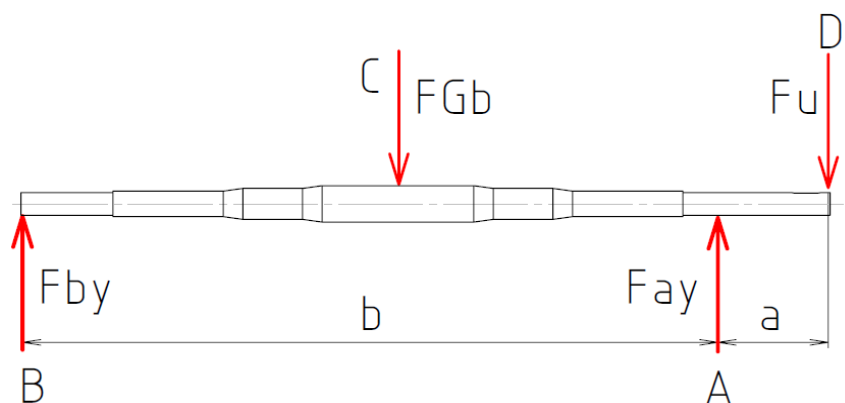
Kde: φ_D - dovolené natočení střednice hřídele v ložiskách [$^\circ$; rad].

3.2.4.70 PRŮHYB δ A NATOČENÍ φ STŘEDNICE HŘÍDELE OD OHYBOVÉHO MOMENTU:

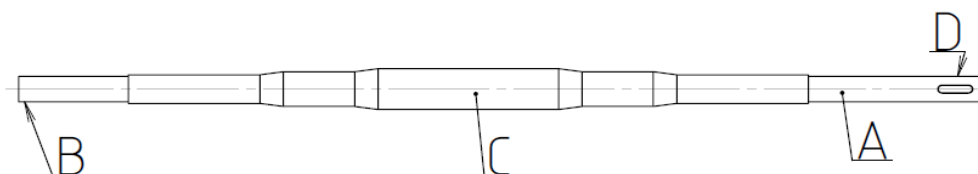
Při řešení průhybů a natočení hřídele v jednotlivých úsecích použijeme metody superpozice, která je součtem řešení jednotlivých dílčích nosníků. Výsledkem je rovnice průhybové čáry pro jednotlivé úseky hřídele B až D. Derivací rovnic průhybové čáry dostáváme, taktéž



natočení hřídele v jeho jednotlivých úsecích. Při výpočtu byly tyto rovnice vypočteny v prostředí softwaru MATLAB a MathCad. Z důvodu zjednodušení byl při výpočtu průhybů a natočení hřídele průměr $d_{min} = 25 \text{ [mm]}$ považován za konstantní po celé délce střednice, tedy ve všech jeho intervalech BC, CA, AD. Výstupem tohoto výpočtu je přehledná tabulka průhybů a natočení hřídele ve všech jeho úsecích.



Obr. 72 Zatížení hřídele



Obr. 73 Přibližný tvar hřídele hnacího bubnu dodávaného výrobcem

Tab. 13 Průhyby a natočení hřídele

Označení místa	Poloha místa	Průhyb	Úhel natočení střednice
	x	δ	φ
	[mm]	[mm]	[rad]
B	0	0	-0.00222846
C	387,5	-0.55872695	0.000131304
A	775	0	0.001703248
D	835	0.097315488	0.001383813
C*	387,5	-0.08614527	0.0001313043



Z tabulky je patrné, že pouze v bodě C byla překročena hodnota δ_D a to více než dvojnásobně při úvaze konstantního průměru hřídele $d_{min} = 25 [mm]$ po celé délce střednice. Změnou hodnoty průměru hřídele v místě C na $d_C = 40 [mm]$, která odpovídá běžnému rozměru uprostřed hřídele dodávaných spolu s hnacím bubnem výrobcem, se zmenší hodnota průhybu v místě C. Poslední řádek tabulky s označením místa C^* odpovídá právě této provedené změně. Natočení střednice hřídele ani v jednom úseku nedosahuje a ani se neblíží spodní hodnotě z výše uvedeného intervalu pro φ_D . Zmíněný interval platí obecně pro kuličková ložiska dle [1], a proto je nutné za dovolené hodnoty natočení hřídele φ_D považovat v první řadě údaje z katalogů udávané samotnými výrobci ložisek, v tomto případě konkrétně firmy SKF a hodnoty uvedené v [1], tak brát jako hodnoty orientační. Z výše zmíněné textové formulace tedy vyplývá vztah:

$$\delta_{B,C,A,D} \ll \delta_D \wedge \varphi_{B,C,A,D} \ll \varphi_D \quad 3. 70$$

Kde:

$\delta_{B,C,A,D}$ -průhyb střednice hřídele v jednotlivých úsecích $[mm]$,

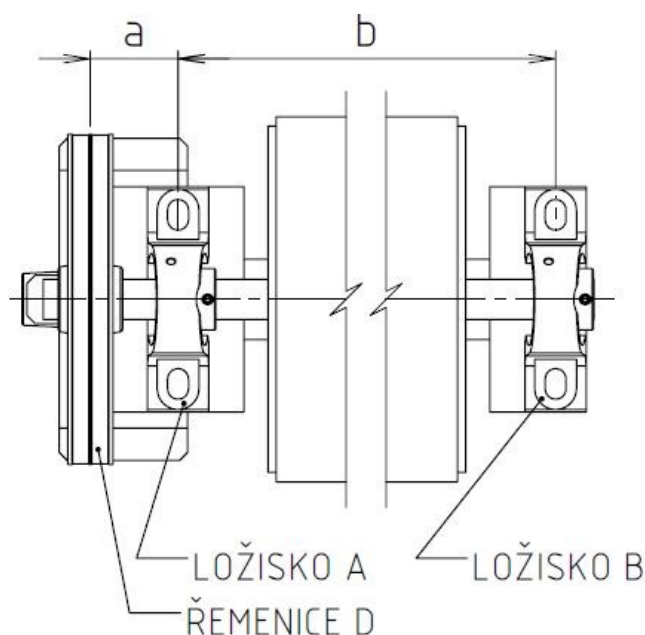
$\varphi_{B,C,A,D}$ -úhel natočení střednice hřídele jednotlivých úsecích $[rad]$.

NÁVRH A KONTROLA LOŽISEK:

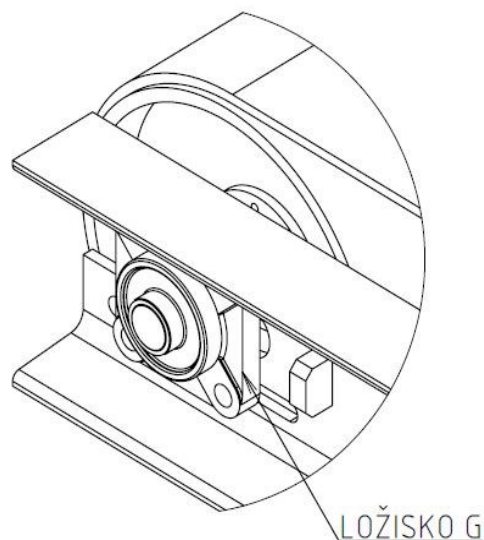
Pro navrhovaný stroj byly vybrány ložiska společnosti SKF. V ložiskách je otočně uložen hřídel hnacího respektive osa vratného bubnu, je tedy nezbytné použití čtyř ložisek. Dle [14] byly vyhledány bližší parametry. Jedná se tzv. domečková ložiska neboli ložiskové jednotky, které se skládají z „domečku“ a samotného ložiska. Konkrétně byly použity jednotky s kuličkovými ložisky a to dvou typů. Ten první tvoří dvojice ložisek, ve kterých je v tomto případě uložen hřídel hnacího bubnu. Tyto jednotky se označují jako stojaté ložiskové jednotky Y. Druhý typ tvoří opět dvojice ložisek, ve kterých je v tomto případě uložen hřídel vratného bubnu. Tyto jednotky se označují jako přírubové ložiskové jednotky Y. Dle [14] mají vybrané ložiskové jednotky označení: SY 25 TF a FY 25 TF a jejich technické listy jsou součástí příloh.

Ložiska ložiskových jednotek Y jsou běžně opatřeny náplní lithného-vápenatého plastického maziva třídy konzistence 2 podle NLGI. Toto plastické mazivo je vhodné pro provozní teploty od -20 do $+120$ °C. Vyznačuje se dobrými protikorozními vlastnostmi a odolností proti vodě. Dosahuje dlouhé životnosti i při působení vysokých zatížení, a tedy ložiska není zpravidla nutné domazávat. Standardní náplň plastického maziva vyplňuje cca. 45 až 60 % volného prostoru v ložisku.[15]

Použití výše zmíněných typů ložisek při návrhu magnetického separátoru je patrné z Obr. 74 a Obr. 75, na kterých však chybí zobrazení spojovacích a napínacích šroubů.



Obr. 74 Uložení hřídele hnacího bubnu v ložiskách B a A



Obr. 75 Uložení osy vratného bubnu v ložiskách G a H (ložiska FY 25 TF)

3.2.4.71 DOVOLENÉ NATOČENÍ STŘEDNICE V LOŽISKÁCH DLE SKF φ_{SKF} :

Ložiskové jednotky Y umožňují vyrovnávat naklopením montážní nepřesnosti až do hodnoty φ_{SKF} . Dle [14] platí:

$$\varphi_{SKF} = 5^\circ = 0,087 \text{ [rad]}$$

3. 71

3.2.4.72 TRVANLIVOST LOŽISKA A V HODINÁCH L_H :

Při výpočtech ložisek výrobci používají základní výpočtovou trvanlivost L_{10} , což je předpokládaná hodnota trvanlivosti založená na základní radiální dynamické únosnosti nebo základní axiální dynamické únosnosti, přiřazená 90% spolehlivosti. Základní výpočtová trvanlivost L_{10} je uváděna pro ložiska vyráběná z obvyklých ložiskových materiálů, obvyklou kvalitu výroby a obvyklé provozní podmínky. Zavedená smluvní hodnota $L_{10} = 10^6 [ot]$. Je to hodnota, kterou dosáhne nebo překročí 90% ložisek, než dojde k jejich únavovému poškození pittingem. Pitting neboli vydrolování materiálu je projevem únavového opotřebení, konkrétně kontaktní únavy kroužku nebo valivých těles ložiska.[1]. Doporučená hodnota požadované trvanlivosti ložisek vzhledem k typu stroje a provozu se pohybuje v rozmezí $L_D^* = 20000 \div 30000$ hodin. Požadovaná trvanlivost ložiska A $L_D = 24000 [h]$. Dle [1] byla vybrána hodnota z intervalu hodnot provozního součinitele pro aplikaci u strojů s malými rázy, tedy $a_f = 1,2 [-]$.

$$L_H = \left(\frac{C}{F_{Ay} * a_f} \right)^{a^*} * \frac{10^6}{60 * n_B}$$

3. 72

$$L_H = \left(\frac{14000}{439,9 * 1,2} \right)^3 * \frac{10^6}{60 * 210,71} = 24580 [h]$$



3.2.4.73 TRVANLIVOST LOŽISKA A V OTÁČKÁCH L_{Ho} :

Při použití základní rovnice trvanlivosti dle [1] platí:

$$L_{Ho} = \left(\frac{C}{F_{Ay} * a_f} \right)^{a^*} * 10^6 \quad 3.73$$

$$L_{Ho} = \left(\frac{14000}{439,9 * 1,2} \right)^3 * 10^6 = 1,865 * 10^{10} [ot]$$

Z výpočtu vyplývá, že vypočtená trvanlivost ložisek L_H , je větší než požadovaná trvanlivost ložisek L_D . Z toho vyplývá, že podmínka byla splněna a platí tedy nerovnice:

$$L_H > L_D \quad 3.74$$

$$24580 [h] > 24000 [h]$$

Tab. 14 Návrh a kontrola ložisek

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
L_{10}	Základní výpočtová trvanlivost dle [1]	10^6	[ot]
L_D^*	Doporučená hodnota požadované trvanlivosti ložisek vzhledem k typu stroje a druhu provozu dle [1]	20000 – 30000	[h]
L_D	Požadovaná trvanlivost ložisek	24000	[h]
L_H	Vypočtená trvanlivost ložiska v hodinách	24580	[h]
L_{Ho}	Vypočtená trvanlivost ložiska v otáčkách	$1,865 * 10^{10}$	[ot]
n_B	Otáčky bubnu	210,71	$[min^{-1}]$
C	Základní dynamická únosnost pro SY 25 TF a FY 25 TF dle [14]	14000	[N]
a^*	Exponent pro ložiska s bodovým stykem (kuličková) dle [1]	3	[–]
F_{Ay}	Radiální síla působící v ložisku A	439,9	[N]
φ_{SKF}	Dovolené natočení střednice ložisek dle [14]	0,087	[rad]



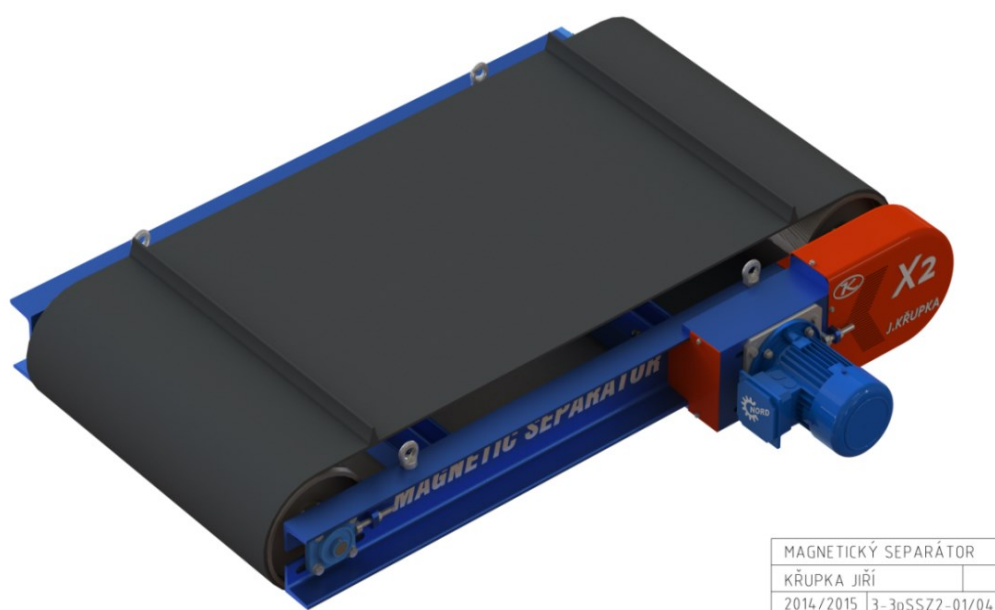
ZÁVĚR

V zásadě lze vypracovanou bakalářskou práci rozdělit na dvě hlavní části a to rešeršní část a konstrukční (návrhovou) část. Prvním cílem bakalářské práce bylo vypracování přehledu o zařízeních sloužících k magnetické separaci a jejich výrobců, který tvoří první kapitulu. Dle dostupných zdrojů byly vybrány hlavní druhy magnetických separátorů. Zmínění výrobci magnetických separátorů byli vybráni na základě nabízených produktů a zeměpisné polohy, pro co nejširší přehled.

V druhé kapitole byl splněn další ze zadaných cílů této práce a to výběr a posouzení konkrétního magnetického separátoru. Bylo však nejprve nezbytné definovat podmínky pracovního prostředí, výběr materiálů určených k separaci a samotnou pracovní pozici magnetického separátoru, které tvoří samostatné podkapitoly. Druhá kapitola dále zahrnuje přehled hlavních částí magnetického separátoru s přihlédnutím k odlišným technickým řešením a možnostem při jejich výběru. Každé z hlavních součástí magnetického separátoru je v tomto přehledu věnována samostatná podkapitola. Zde končí rešeršní část bakalářské práce.

Konstrukční (návrhová) část bakalářské práce tvoří třetí kapitulu-Technická zpráva. Její první podkapitola obsahuje přehled vybraných navržených a zakoupených konkrétních komponentů, ze kterých se skládá magnetický separátor. Druhá její podkapitola obsahuje výpočet konstrukčních uzlů magnetického separátoru, který je tvořen řadou vzorců, tabulek, obrázků a schémat. Vše výše zmíněné posloužilo pro návrh vyráběných dílů a následně jejich výkresové dokumentace. Z vyráběných a nakoupených dílů byla sestavena montážní jednotka, jejíž výkresová dokumentace je spolu s výkresem svarku rámu, seznamy položek sestavy a rámu hlavní částí příloh.

Součástí příloh jsou také celkově pět obrazových snímků, z nichž první čtyři se věnují analýze napětí a průhybu ve spojnici a v rámu. Posledním obrazovým snímkem, který je součástí příloh je výsledný render celé sestavy Magnetického separátoru, jehož zmenšená verze je zobrazena níže. Při tvorbě bakalářské práce bylo využito softwaru: MS Word, Autocad, Solidworks, MATLAB, MathCad.



Obr. 76 Render Magnetického separátoru



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. VUTIAM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Albra, 2005, 914 s. 80-7361-033-7.
- [3] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 277 s.
- [4] JANÍČEK, Přemysl, Emanuel ONDRÁČEK a Jan VRBKA. *Mechanika těles: pružnost a pevnost*. 2. vyd. Brno: VUT, 1992, 287 s. ISBN 80-214-0468-x
- [5] JANÍČEK, Přemysl, Zdeněk FLORIÁN. *Mechanika těles Úlohy z pružnosti a pevnosti I*. 3. vyd. CERM, 2010, 170 s. ISBN 978-80-214-4122-4
- [6] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS, Jiří DVOŘÁČEK a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. 4. vyd. CERM, 2011, 234 s. ISBN 978-80-7204-750-5
- [7] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem*. 4. vyd. CERM, 2011, 234 s. ISBN 978-80-7204-751-2
- [8] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 1. vyd. CP books, 2005, 252 s. ISBN 80-251-0498-2
- [9] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Brno/Praha: VUTIAM/PROMETHEUS, 2000, 1198 s. ISBN 80-214-1869-9.
- [10] ČSN ISO 5048. Zařízení pro plynulou dopravu nákladů: Pásové dopravníky s nosnými válečky. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [11] ČSN 42 0030. Hutnictví: Ocelový a litinový odpad. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [12] Rám: Feron. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php?searchtext=DIN+1026-1&druh=0&material=0&typ_normy=0&norma=&r1=&r2=&r3=&r4=&search_type=0#
- [13] Elektromotor: NORD. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z http://www.nord.com/cms/media/documents/bw/M7000_IE1_IE2_IE3_EN_5114_ganz_neu.pdf
- [14] Domečková ložiska: SKF. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.skf.com/binary/151-121486/SKF-rolling-bearings-catalogue.pdf>
- [15] Domečková ložiska: SKF. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/lubrication/index.html>



- [16] Bubny: GTK [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.gktupesy.cz/index.php?page=bubny&language=cz>
- [17] Dopravní pás: GUMEX. [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.gumex.cz/ep250-2-pryzove-pasy-pro-prumyslove-pouziti-48570.html>
- [18] Dopravní pás: SAVA. [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: http://www.savatrade.cz/upload/file/Katalog_Trakovi_53d89a1898c28.pdf
- [19] Klínový řemen a silentblok: RUBENA. [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.rubena.cz>
- [20] Permanentní magnet: SINOMAG. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni_magnety.pdf
- [21] Magnetické separátory: WAMAG. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.wamag.cz/17-zavesny-permanentni-magneticky-separator.html>
- [22] Magnetické separátory: WALMAG. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.walmag.cz/cs/produkty/>
- [23] Magnetické separátory: CONVEYORTEK. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.conveyortek.com/conveyor-systems/metal-separation-and-detection>
- [24] Magnetické separátory: COGELME. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z http://www.cogelme.it/overbelt_magnetic_separators_iron.html
- [25] Magnetické separátory: ERGA. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z http://www.rusmagnet.com/products/magnetic_separators/
- [26] Magnetické separátory: BLS MAGNET. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.blsmagnet.com/en/products/industrial-applications/magnetic-separation>
- [27] Magnetické separátory: SOLLAU. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.magnet-technology.cz/katalog/cs-c20-separatory-ze-sypkych-materialu.html>
- [28] Magnetické separátory: STEINERT. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.steinertglobal.com/de/en/products/magnetic-separation/>
- [29] Magnetické separátory: SELOS. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.magnety.eu/magneticke-separatory/separatory-pro-prumysl/zavesne>
- [30] Magnetické separátory: IFE SYSTEM AB. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://www.ife-system.se/en/produkter/magnetavskiljare>
- [31] Vyhledávač obrázků: GOOGLE. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <https://www.google.cz/search>
- [32] Magnetické separátory: PCI. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z http://www.pcimfg.com/wp-content/uploads/2014/11/PCI_Pulley_Selection_Guide_2014.pdf



- [33] Magnetické separátory: CRESSWOOD. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://cresswood.com/videos---service-guides.html>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

symbol	veličina	jednotka
a^*	Exponent pro ložiska s bodovým stykem (kuličková)	[–]
a	Vzdálenost mezi osou ložiska A a řemenicí D	[m]; [mm]
a_f	Provozní součinitel ložisek	[–]
A^*	Předběžně zvolená osová vzdálenost řemenového převodu	[m]; [mm]
A	Skutečná osová vzdálenost řemenic	[m]; [mm]
B_p	Šířka dopravního pásu	[m]; [mm]
b	Užitečná šířka dopravního pásu	[m]; [mm]
	Vzdálenost mezi osou ložiska B a A	[m]; [mm]
b_1	Šířka drážky pro pero	[m]; [mm]
B_m	Šířka magnetu	[m]; [mm]
C	Základní dynamická únosnost ložiska	[N; kN]
C_K	Součinitel počtu řemenů v převodu	[–]
C_L	Součinitel vlivu délky řemene	[–]
C_p	Součinitel dynamičnosti zařízení a pracovního režimu	[–]
C_α	Součinitel úhlu opásání	[–]
d_B^*	Navrhovaný průměr hřídele bubnů	[m]; [mm]
D_B	Průměr hnacího a vratného bubnu	[m]; [mm]
d_C	Průměr hřídele v místě C	[m]; [mm]
d_p	Výpočtový průměr malé řemenice	[m]; [mm]
D_p	Výpočtový průměr velké řemenice	[m]; [mm]
d_{min}^*	Výpočtový minimální průměr hřídele dle HMH	[m]; [mm]
d_{min}	Zvolený minimální průměr hřídele dle HMH	[m]; [mm]
e	Eulerovo číslo	[–]
E	Modul pružnosti v tahu	[GPa; MPa]
f_G	Globální součinitel tření	[–]
f_p	Součinitel tření mezi magnetem a pásem	[–]
F	Obvodová síla	[N]
F_{ba}	Odpory setrvačných sil v místě nakládání a urychlování	[N]
F_d	Doplňková síla	[N]
F_{Gb}	Síla od vlastní hmotnosti bubnu	[N]
F_{GO}	Tíhová síla od feromagnetického odpadu	[N]
F_H	Hlavní odpory	[N]
F_l	O odpor ohybu pásu na bubnech	[N]
ΔF_P	Tahová síla v pásu po překonání odporů	[N]
F_N	Vedlejší odpory	[N]
F_{NPM}	Normálová síla magnetu	[N]
F_{Mk}	Obvodová síla od kroutícího momentu působící na pero	[N]



symbol	veličina	jednotka
F_{TPM}	Třecí síla mezi pásem a magnetem	[N]
F_q	Celková síla od spojitého liniového zatížení	[N]
F_{q1}	Síla od spojitého liniového zatížení na jednu spojnicí	[N]
$F_{q1/2}$	Síla od spojitého liniového zatížení na polovinu spojnice	[N]
F_{pm}	Průměrný tah v pásu na bubnu	[N]
F_{PM}	Přítlačná síla magnetu	[N]
F_t	Odpor v ložiskách hnaného bubnu	[N]
F_T	Možný vektorový součet tahů v pásu	[N]
$F_{1ř}$	Největší tahová síla v tažné větvi řemenu	[N]
F_U^{**}	Pracovní předpětí	[N]
F_U^*	Obvodová hnací síla dle ISO 5048	[N]
F_U	Pracovní předpětí řemene	[N]
F_{Ukont}	Kontrola tahů v řemenu	[N]
F_{Ay}	Radiální síla v ložisku A	[N]
F_{Bx}	Axiální síla v ložisku B	[N]
F_{By}	Radiální síla v ložisku B	[N]
$F_{2řmin}$	Nejmenší tahová síla ve sbíhající větvi řemenu	[N]
g	Tíhové zrychlení	$[m * s^{-2}]$
h_m	Výška magnetu	[m]; [mm]
i	Navrhované převodové číslo	[-]
i_m	Počet magnetů	[-]
i_{skut}	Skutečné převodové číslo	[-]
I_V	Objemový dopravní výkon	$[m^3 * s^{-1}]$
I_m	Hmotnostní dopravní výkon	$[kg * s^{-1}]$
J_U	Kvadratický moment v ohybu pro U 100	$[m^4]; [mm^4]$
$J_{y1} = J_{z1}$	Kvadratický moment průřezu pro ohyb v řezu 1	$[m^4]; [mm^4]$
J_{p1}	Polární kvadratický moment v řezu 1	$[m^4]; [mm^4]$
K	Počet řemenů	[-]
k_n	Návrhový součinitel	[-]
k_p	Součinitel sklonu pásu	[-]
l_p^*	Výpočtová délka drážky pro pero	[m]; [mm]
l_p	Zvolená délka drážky pro pero dle ST.	[m]; [mm]
l	Vzdálenost mezi ložisky obecně	[m]; [mm]
L_{10}	Základní výpočtová trvanlivost	[ot]
L_B	Délka bubnu	[m]; [mm]
L_d	Délka magnetického separátoru	[m]; [mm]
L_D^*	Doporučená hodnota požadované trvanlivosti ložisek vzhledem k typu stroje a provozu	[h]
L_D	Požadovaná trvanlivost ložiska	[h]



symbol	veličina	jednotka
L_H	Trvanlivost ložiska v provozu v hodinách	[h]
L_{Ho}	Trvanlivost ložiska v provozu v otáčkách	[ot]
L_m	Délka magnetu	[m]; [mm]
L_p^*	Výpočtová délka řemenu	[m]; [mm]
L_p	Zvolená délka řemenu dle ST.	[m]; [mm]
L_s	Délka spojnice U	[m]; [mm]
$L_{s/2}$	Polovina délky spojnice	[m]; [mm]
m_p	Hmotnost dopravního pásu	[kg * m ⁻²]
m_m	Hmotnost jednoho magnetu	[kg]
m_{mcelk}	Celková hmotnost magnetů	[kg]
m_{PM}	Hmotnost, kterou je magnet schopen udržet	[kg]
M_B	Moment k bodu B	[N * m]
Mo_1	Ohybový moment v řezu 1	[N * m]
Mo_2	Ohybový moment v řezu 2	[N * m]
Mo_3	Ohybový moment v řezu 3	[N * m]
Mk_B	Krouticí moment působící na buben	[N * m]
Mo_U	Ohybový moment působící na spojnici U v řezu 1	[N * m]
n_B	Otáčky bubnu	[s ⁻¹]; [min ⁻¹]
n_{MOT}^*	Přibližné otáčky motoru	[s ⁻¹]; [min ⁻¹]
n_{MOT}	Otáčky hnací hřídele elektromotoru=otáčky malé řemenice	[s ⁻¹]; [min ⁻¹]
p	Koeficient řemenového převodu	[-]
P	Požadovaný výkon pohonu magnetického separátoru	[W]
P^*	Příkon magnetického separátoru	[W]
P_{MOT}	Výkon přenášený na hnacím hřídeli elektromotoru	[W]
P_{prov}	Výkon přenášený jedním řemenem v podmínkách provozu	[W]
P_0	Jmenovitý výkon převodu s 1 řemenem typu Z	[W]
p_0	Základní hodnota tlaku pro pero	[MPa]
p_D	Dovolený tlak na bocích drážek v náboji	[MPa]
q	Koeficient řemenového převodu	[-]
q_m	Spojitě liniové zatížení od sestavy magnetů	[N/mm]
q_p	Hmotnost jednoho metru dopravního pásu	[kg * m ⁻¹]
q_g	Hmotnost dopravovaného materiálu na jeden metr pásu	[kg * m ⁻¹]
r_m	Rozteč šroubů magnetu	[mm]
R_{e1}	Mez kluzu pro ocel 11600	[MPa]
t_p	Tloušťka dopravního pásu	[m]; [mm]
t_m	Počet šroubů každého magnetu	[-]
t_1	Hloubka drážky pro pero v náboji	[m]; [mm]
T_1	Posouvající síla v řezu 1	[N]



symbol	veličina	jednotka
T_2	Posouvající síla v řezu 2	[N]
T_3	Posouvající síla v řezu 3	[N]
T_U	Posouvající síla působící na spojnicí U v řezu 1	[N]
v	Dopravní rychlost	[m * s ⁻¹]
v_{rem}	Obvodová rychlost malé řemenice	[m * s ⁻¹]
w_{BU}	Průhyb spojnice rámu v bodě B	[m]; [mm]
W_{oU}	Modul průřezu v ohybu pro U 100	[mm ³]
W_{o1}	Průřezový modul v ohybu v řezu 1	[m ³]
W_{k1}	Průřezový modul v krutu v řezu 1	[m ³]
α_1	Úhel opásání malé řemenice	[°; rad]
α_{oU}	Součinitel koncentrace napětí pro ohyb U	[-]
$\alpha_{\sigma 1}$	Součinitel koncentrace napětí pro ohyb v řezu 1	[-]
$\alpha_{\tau 1}$	Součinitel koncentrace napětí pro krut v řezu 1	[-]
γ	Úhel opásání řemenového převodu	[°; rad]
ρ_{ocel}	Objemová hmotnost oceli	[kg * m ⁻³]
η	Účinnost řemenového převodu	[-]
φ	Úhel natočení střednice hřídele	[°; rad]
φ_1	Úhel opásání hnacího a vratného bubnu	[°; rad]
φ_{SKF}	Dovolené natočení střednice pro daný typ ložisek	[°; rad]
$\varphi_{B,C,A,D}$	Úhel natočení střednice hřídele jednotlivých úsecích	[°; rad]
φ_D	Dovolené natočení střednice hřídele v ložiskách	[°; rad]
σ_{o1}	Ohybové napětí v řezu 1	[MPa]
σ_{oU}	Ohybové napětí v rámu v řezu 1	[MPa]
τ_{k1}	Napětí od krutu v řezu 1	[MPa]
σ_{RED}	Redukované napětí dle HMM	[MPa]
σ_{RED1}	Redukované napětí dle HMM	[MPa]
δ	Průhyb střednice hřídele	[m]; [mm]
δ_D	Dovolený průhyb střednice hřídele	[m]; [mm]
$\delta_{B,C,A,D}$	Průhyb střednice hřídele v jednotlivých úsecích	[m]; [mm]
ξ	Součinitel rozběhu	[-]
μ_1	Součinitel tření mezi řemenicí a řemenem	[-]
ω_B	Úhlová rychlost bubnu	[rad * s ⁻¹]



SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 DESKOVÝ SEPARÁTOR (UMÍSTĚNÍ A)[26]	13
OBR. 2 DESKOVÝ SEPARÁTOR (UMÍSTĚNÍ B) [26]	13
OBR. 3 TRUBKOVÝ SEPARÁTOR[26]	14
OBR. 4 KASKÁDOVÝ SEPARÁTOR[26]	15
OBR. 5 ČTVERCOVÝ MAGNETICKÝ ROŠT (A) [26]	16
OBR. 6 ČTVERCOVÝ MAGNETICKÝ ROŠT (B) [26]	16
OBR. 7 FILTRAČNÍ TYČ[26]	16
OBR. 8 BUBNOVÝ MAGNET (FUNKCE A) [26]	16
OBR. 9 BUBNOVÝ MAGNET (FUNKCE B) [26]	16
OBR. 11 MAGNETICKÝ HNACÍ VÁLEC[26]	17
OBR. 10 BUBNOVÝ MAGNET S KRYTOVÁNÍM [26]	17
OBR. 12 BLOKOVÝ MAGNET [26]	18
OBR. 13 PÁSOVÝ SEPARÁTOR [26]	18
OBR. 14 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (UMÍSTĚNÍ A) [26]	19
OBR. 15 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (UMÍSTĚNÍ B) [26]	19
OBR. 16 ZÁVĚSNÝ PÁSOVÝ SEPARÁTOR S ELEKTROMAGNETEM [30]	19
OBR. 17 LOGO FIRMY CONVEYORTEK [23]	20
OBR. 17 BLOKOVÝ MAGNET (CONVEYORTEK)[23]	20
OBR. 18 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (CONVEYORTEK)[23]	20
OBR. 19 PÁSOVÝ SEPARÁTOR S ELEKTROMAGNETEM (CONVEYORTEK)[23]	20
OBR. 20 LOGO FIRMY COGELME [24]	20
OBR. 21 MAGNETICKÝ ROŠT (COGELME) [24]	20
OBR. 22 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (COGELME)[24]	20
OBR. 23 LOGO FIRMY ERGA [25]	21
OBR. 24 MAGNETICKÝ HNACÍ VÁLEC (ERGA)[25]	21
OBR. 25 MAGNETICKÝ BUBEN (ERGA)[25]	21
OBR. 26 ZÁVĚSNÝ BLOKOVÝ MAGNET (ERGA)[25]	21
OBR. 27 LOGO FIRMY BLS MAGNET[26]	21
OBR. 29 MAGNETICKÝ BUBEN (BLS MAGNET)[26]	21
OBR. 30 MAGNETICKÝ HNACÍ VÁLEC (BLS MAGNET)[26]	21
OBR. 28 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (BLS MAGNET)[26]	21
OBR. 31 LOGO FIRMY SOLLAU [27]	22
OBR. 35 LOGO FIRMY STEINERT [28]	22
OBR. 32 MAGNETICKÝ ROŠT (SOLLAU)[27]	22
OBR. 33 DESKOVÝ SEPARÁTOR (SOLLAU)[27]	22
OBR. 34 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (SOLLAU)[27]	22
OBR. 36 ZÁVĚSNÉ MAGNETY (STEINERT)[28]	22
OBR. 37 MAGNETICKÝ HNACÍ VÁLEC (STEINERT)[28]	22
OBR. 38 PÁSOVÝ SEPARÁTOR (STEINERT)[28]	22
OBR. 39 MAGNETICKÝ BUBEN (STEINERT)[28]	22
OBR. 40 ROZDRČENÝ ODPAD URČENÝ K SEPARACI [33]	24
OBR. 41 SEPARÁTOR ROVNOBĚŽNĚ S PÁSOVÝM DOPRAVNÍKEM [31]	25
OBR. 42 SEPARÁTOR KOLMO VŮČI PÁSOVÉMU DOPRAVNÍKU [31]	25
OBR. 43 RÁM MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU	26
OBR. 44 VRATNÝ (NAPÍNACÍ) BUBEN [16]	27
OBR. 45 HNACÍ BUBEN [16]	27
OBR. 46 SVAROVÉ SPOJENÍ BUBNU A HŘÍDELE [32]	27
OBR. 47 SVĚRNÉ POUZDRO TYPU XT [32]	27
OBR. 48 USPOŘÁDÁNÍ MAGNETICKÝCH MOMENTŮ RŮZNÝCH TYPŮ MATERIÁLŮ [20]	28
OBR. 50 HYSTEREZNÍ SMYČKA [16]	33
OBR. 49 KŘIVKA PRVOTNÍ MAGNETIZACE [16]	33
OBR. 51 BLOKOVÉ SCHÉMA PŘEVODU OD MOTORU NA PRACOVNÍ STROJ[6]	35
OBR. 52 KUŽELOČELNÍ PŘEVODOVKA A ELEKTROMOTOR NORD[13]	35
OBR. 54 ŠNEKOVÁ PŘEVODOVKA S ČELNÍM PŘEDSTUPNĚM A ELEKTROMOTOR NORD[13]	36
OBR. 53 ELEKTROBUBEN [31]	36
OBR. 55 SCHÉMATICKÉ USPOŘÁDÁNÍ ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	37
OBR. 57 DOPRAVNÍ PÁS Z OCELOVÝCH LANEK [3]	38



OBR. 56 ŘEZ DOPRAVNÍHO PÁSU [3]	38
OBR. 60 MONTÁŽ UNAŠEČE NA DOPRAVNÍ PÁS [31]	39
OBR. 58 PŘÍKLAD DOPRAVNÍHO PÁSU [31]	39
OBR. 59 POUŽITÍ HLADKÉHO DOPRAVNÍHO PÁSU V PROVOZU [18].....	39
OBR. 61 RÁM.....	44
OBR. 62 VVÚ OD SPOJITÉHO LINIOVÉHO ZATÍŽENÍ.....	44
OBR. 63 POLOVINA BOČNICE	44
OBR. 64 PŮSOBENÍ VYBRANÝCH SIL A RYCHLOSTÍ	54
OBR. 65 SCHÉMA HNACÍHO BUBNU	57
OBR. 66 VVÚ HŘÍDELE HNACÍHO BUBNU	58
OBR. 67 NAMÁHÁNÍ PERA [6].....	63
OBR. 68 ULOŽENÍ MALÉ ŘEMENICE NA HŘÍDELI [8].....	63
OBR. 69 ŘEZ MALÉ ŘEMENICE [8].....	63
OBR. 71 PERO TĚSNÉ	64
OBR. 70 PERO TĚSNÉ	64
OBR. 72 ZATÍŽENÍ HŘÍDELE.....	65
OBR. 73 PŘÍBLIŽNÝ TVAR HŘÍDELE HNACÍHO BUBNU DODÁVANÉHO VÝROBCEM	65
OBR. 75 ULOŽENÍ OSY VRATNÉHO BUBNU V LOŽISKÁCH G A H (LOŽISKA FY 25 TF).....	67
OBR. 74 ULOŽENÍ HŘÍDELE HNACÍHO BUBNU V LOŽISKÁCH B A A.....	67
OBR. 76 RENDER MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU	69



SEZNAM TABULEK:

TAB. 1 SEZNAM POUŽITÝCH MAGNETICKÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN	28
TAB. 2 PARAMETRY BUBNŮ.....	41
TAB. 3 PARAMETRY MAGNETŮ.....	41
TAB. 4 PARAMETRY ELEKTROMOTORU	42
TAB. 5 PARAMETRY DOPRAVNÍHO PÁSU	42
TAB. 6 VSTUPNÍ PARAMETRY.....	43
TAB. 7 ZVOLENÉ PARAMETRY	43
TAB. 8 TABULKOVÉ HODNOTY	43
TAB. 9 PEVNOSTNÍ KONTROLA RÁMU	44
TAB. 10 PARAMETRY ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	56
TAB. 11 SEZNAM SIL ZATĚŽUJÍCÍCH HŘÍDEL	58
TAB. 12 KONTROLA HŘÍDELE	62
TAB. 13 PRŮHYBY A NATOČENÍ HŘÍDELE	65
TAB. 14 NÁVRH A KONTROLA LOŽISEK.....	68



SEZNAM PŘÍLOH

-Výkres sestavy:	MAGNETICKÝ SEPARÁTOR	1-3pSSZ2-01/00
-Výkres sestavy (ISO pohled):	MAGNETICKÝ SEPARÁTOR	1-3pSSZ2-01/00
-Seznam položek 3x:	MAGNETICKÝ SEPARÁTOR	1-3pSSZ2-01/00
-Výkres svarku pro svařování a obrábění:	RÁM	1-3pSSZ2-01/01
- Seznam položek:	RÁM	1-3pSSZ2-01/01
-Analýza napětí a průhybu ve spojnici:	SPOJNICE	4-3pSSZ2-01/02
- Analýza napětí a průhybu v rámu:	RÁM	4-3pSSZ2-01/03
-Render sestavy:	MAGNETICKÝ SEPARÁTOR	3-3pSSZ2-01/04
-Technický list:	LOŽISKO SY 25 TF	4-3pSSZ2-01/05
-Technický list:	LOŽISKO FY 25 TF	4-3pSSZ2-01/06